



TUGAS AKHIR - RE 184804

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PENGOLAHAN AIR DI IPAM “X” DENGAN MENGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE* *ASSESSMENT* (LCA)

INTANIA MITRA UTAMI
03211540000060

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROSES
PENGOLAHAN AIR DI IPAM “X” DENGAN
MENGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE*
ASSESSMENT (LCA)**

INTANIA MITRA UTAMI
03211540000060

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

**ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYZE OF
WATER TREATMENT PROCESS AT DRINKING
WATER TREATMENT PLANT “X” USING *LIFE
CYCLE ASSESSMENT* (LCA) METHOD**

INTANIA MITRA UTAMI
03211540000060

SUPERVISOR
Prof.Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering Environmental and Earth
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

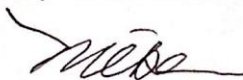
ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PENGOLAHAN AIR DI IPAM "X" DENGAN MENGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan ,dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
INTANIA MITRA UTAMI
NRP. 03211540000060

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof.Dr.Ir Nieke Karnaningroem,M.Sc
NIP. 19550128 198503 2 001



ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PENGOLAHAN AIR DI IPAM “X” DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Nama Mahasiswa : INTANIA MITRA UTAMI
NRP : 03211540000060
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem M,Sc

ABSTRAK

Kegiatan proses produksi air minum di IPAM “X” masih dilakukan secara konvensional. Pengolahan air di IPAM “X” terdiri dari proses *intake*, sumur penyeimbang, pompa air baku, aerasi, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filter, desinfeksi dan reservoir. Proses pengolahan air secara konvensional merupakan salah satu kegiatan yang berdampak terhadap lingkungan akibat konsumsi energi dan penggunaan bahan kimia. Konsumsi energi dapat berupa penggunaan pompa, *backwash* filter dan *valve* serta penggunaan bahan kimia berupa koagulan seperti alum atau tawas ($Al_2(SO_4)_3$) serta penggunaan klorin sebagai desinfektan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dampak pada serangkaian proses pada IPAM “X” dengan melakukan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) dan menentukan solusi untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan hasil pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) pada proses pengolahan air di IPAM “X”.

Penelitian ini mengidentifikasi dampak yang disebabkan dari proses pengolahan air di IPAM “X” terhadap lingkungan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan suatu metode untuk menganalisis dampak suatu produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Pada penelitian ruang lingkup LCA yang digunakan adalah *Cradle to Gate*. Siklus ini dimulai dari penyediaan dan pemanfaatan bahan baku hingga proses sebelum ke distribusi pelanggan. Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang akan dihasilkan. Tahapan *Life Cycle Assessment* (LCA), yaitu *Goal* dan *Scope*, *Life Cycle*

Inventory, Life Cycle Impact Assessment, Interpretation Data, dan kemudian dilakukan pemilihan alternatif yang cocok untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan. Dampak yang dibahas pada penelitian ini adalah *Ozone Layer Depletion, Global Warming* dan *Respiratory Inorganics*. Pemilihan prioritas ini dikarenakan ketiga hal tersebut sangat berkaitan dengan topik penelitian. Software yang dapat digunakan untuk menginput dan menginventarisasi data dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah software SimaPro 8.5. Hasilnya akan mengkalkulasi input seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan output suatu nilai grafik.

Hasil penelitian pada masing-masing proses berbeda. Dampak berasal dari penggunaan koagulan jenis aluminum sulfat (tawas), penggunaan klorin sebagai desinfektan dan konsumsi listrik. Dampak yang dihasilkan adalah *Global Warming* sebesar 658911,5 kg CO₂, *Respiratory Inorganics* sebesar 250,1 kg PM_{2.5}, dan *Ozone Layer Depletion* sebesar 0,015 kg CFC-11. Setelah diketahui dampaknya maka dilakukan analisis alternatif yang dapat digunakan pada masing-masing kegiatan. Terdapat 3 alternatif yang direncanakan yaitu optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum, menggunakan energi terbarukan pada sebagian *supply* energi listrik di IPAM “X”, dan substusi desinfektan jenis klor dengan garam hipoklorit. Alternatif terbaik yang dihasilkan hasil analisis menggunakan metode AHP adalah penggunaan energi terbarukan pada sebagian *supply* energi listrik di IPAM “X” untuk mengurangi dampak global warming.

Kata kunci : Alternatif, Emisi, Instalasi Pengolahan Air Minum, *Life Cycle Assessment* (LCA), dan SimaPro

ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYZE OF WATER TREATMENT PROCESS IN IPAM "X" USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

Name : INTANIA MITRA UTAMI
NRP : 03211540000060
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem M,Sc

ABSTRACT

Drinking water production process in IPAM (Water Treatment Plant) "X" is still done conventionally. Water treatment in IPAM "X" includes intake, balancing wells, raw water pumps, aeration, pre-sedimentation, coagulation-flocculation, sedimentation, filters, disinfection and reservoir. Conventional processing has some environmental impacts due to energy consumption and use of chemicals. Energy consumption takes form in the use of pumps, backwash filters, valves and the use of chemicals in coagulants such as alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) and the use of chlorine as a disinfectant. The purpose of this study is to identify the impact of water treatment process in IPAM "X" using Life Cycle Assessment (LCA) method and to determine solutions to reduce the impact on the environment resulting from the approach by LCA.

This research identified the impact caused by the water treatment process in IPAM "X" on the environment using the LCA method. LCA is a method use to analyze the impact of a product on the environment throughout its life cycle. In this study the scope of LCA used is "Cradle to Gate". This cycle starts from the supply and utilization of raw materials to the process before distribution to customers. The first stage in LCA is to arrange and inventorize the inputs and outputs related to the product to be produced. Stages of LCA are Goal and Scope, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment, Data Interpretation. This is followed by a selection of suitable alternatives to overcome the problems caused. There are 14 impact categories, but this study focuses only on three, which are Ozone Layer Depletion, Global Warming and Respiratory Inorganics. Software that can be used to input and inventorize data using LCA method is the SimaPro 8.5 software. The results will

calculate input such as the quantity and quality of raw materials and produce output in the form of a graph value.

The result of the research on each process is different. The environmental impacts come from the use of coagulants such as PAC (Polyaluminium chloride) and aluminum sulfate (alum), the use of chlorine as a disinfectant, and electricity consumption. The biggest impact that is produced is Global Warming which produces 658,911.5 kgCO₂, *Respiratory Inorganics* which produces 250,1 kg PM_{2.5}, and *Ozone Layer Depletion* which produces 0,015 kg CFC-11. After the impact is known, alternative solutions that can be implemented in each activity are analyzed. There are three planned alternatives, namely the optimization of the use of synthetic coagulant alum, using renewable energy in a part of the electricity supply in IPAM "X", and substituting disinfectant chlorine with hypochlorite salt. The best alternative produced by the analysis using the AHP method is the use of renewable energy in a part of the electricity supply in IPAM "X" to reduce Global Warming impact.

Keywords: Alternatives, Drinking Water Treatment Installation , Emissions, , Life Cycle Assessment (LCA), and SimaPro.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya pada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Dampak Lingkungan Proses Air di IPAM “X” dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)**”. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D selaku kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, saran dan kesabarannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
3. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc. selaku koordinator Tugas Akhir, terima kasih atas segala ilmu dan saran yang telah diberikan
4. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes., Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc Ph.D dan Bapak Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D selaku dosen pengarah
5. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT atas bimbingan selama menjalani kegiatan perkuliahan di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
6. Kedua Orang Tua, saudara dan keluarga besar penulis yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
7. Bapak Agus Jitu dan karyawan IPAM “X” yang telah membantu, membimbing dan memfasilitasi penulis selama di IPAM “X”.

8. Teman-teman angkatan 2015 yang selalu mendoakan dan mendukung penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
 9. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas dukungan dan kerjasama yang diberikan
- Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Klasifikasi Mutu Air	5
2.2 Sumber Air Baku	5
2.3 Parameter Kualitas Air Minum.....	6
2.4 Proses Pengolahan Air Minum	8
2.5 Instalasi Pengolahan Air Minum “X”	13
2.6 <i>Life Cycle Assessment</i>	21
2.7 Definisi SimaPro 8.5	26
2.8 Metode Impact 2002+.....	32
2.9 Perhitungan Analytical Hierarchy Process (AHP)	41
2.10 Penggunaan Expert Choice untuk AHP	42
BAB III METODE PENELITIAN	47
3.1 Deskripsi umum.....	47
3.2 Kerangka Penelitian	47

3.3 Penelitian Pendahuluan.....	49
3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	50
3.4 Penginput Data dalam SimaPro 8.5	51
3.5 Penentuan Keputusan dengan Pendekatan AHP Menggunakan Expert Choice	54
3.6 Kesimpulan dan Saran	54
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Kualitas air di IPAM “X”	57
4.2 Analisis Menggunakan SimaPro 8.5	61
4.2.1 Penentuan <i>Goal</i> dan <i>Scope</i>	61
4.2.2 Penentuan <i>Life Cycle Inventory</i>	62
4.2.3 Analisis <i>Life Cycle Inventory</i>	62
4.2.4 Analisis <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	79
4.2.5 Penilaian Dampak Proses Pengolahan di IPAM “X” Secara Keseluruhan	87
4.3 Hubungan Alternatif Perbaikan dengan Impact pada Analisis LCA 104	
4.4 Pemilihan Alternatif Terbaik dengan AHP	107
4.4.1 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur AHP	109
4.4.2 Penyusunan Hierarki AHP	110
4.4.3 Analisis Pemilihan Alternatif Terbaik	111
4.4.4 Validasi Hasil AHP.....	114
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	125
5.1 Kesimpulan	125
5.2 Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	127
BIODATA PENULIS	xiv

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Kualitas Air Minum.....	6
Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kelemahan Koagulan	10
Tabel 2. 3 Kelebihan dan Kelemahan Koagulan	11
Tabel 2. 4 Perbandingan Berbagai Bahan Desinfektan.	12
Tabel 2. 5 Metode pada SimaPro 8.5.....	23
Tabel 2. 6 Metode pada SimaPro (lanjutan).....	24
Tabel 2. 7 Sumber Utama Untuk Factor Karakterisasi, Zat Referensi dan Kerukan Unit yang Digunakan Pada Metode Impact 2002+.....	34
Tabel 2. 8 Sumber Utama Untuk Factor Karakterisasi, Zat Referensi dan Kerukan Unit yang Digunakan Pada Metode Impact 2002+.....	35
Tabel 4. 1 Hasil uji kekeruhan di masing-masing unit.....	57
Tabel 4. 2 Hasil Uji Parameter TDS Disemua Unit.	59
Tabel 4. 3 Hasil uji parameter TDS disemua unit.....	60
Tabel 4. 4 Hasil uji parameter pH pada semua unit	60
Tabel 4. 5 <i>Life Cycle Inventory</i> intake dalam satu hari	63
Tabel 4. 6 <i>Life Cycle Inventory</i> unit aerator dalam satu hari.....	65
Tabel 4. 7 <i>Life Cycle Inventory</i> unit prasedimentasi dalam satu hari	67
Tabel 4. 8 <i>Life Cycle Inventory</i> unit koagulasi dalam satu hari ...	70
Tabel 4. 9 <i>Life Cycle Inventory</i> unit flokulasi dalam satu hari	70
Tabel 4. 10 <i>Life Cycle Inventory</i> unit clarifier dalam satu hari....	72
Tabel 4. 11 <i>Life Cycle Inventory</i> unit filtrasi dalam satu hari.....	74
Tabel 4. 12 <i>Life Cycle Inventory</i> unit desinfeksi dalam satu hari	76
Tabel 4. 13 <i>Life Cycle Inventory</i> unit reservoir dalam satu hari ..	77
Tabel 4. 14 <i>Impact Assessment</i> Intake	80
Tabel 4. 15 <i>Impact Assessment</i> aerator.....	81
Tabel 4. 16 <i>Impact Assessment</i> prasedimentasi	82
Tabel 4. 17 <i>Impact Assessment</i> koagulasi & flokulasi	84
Tabel 4. 18 <i>Impact Assessment</i> clarifier	85
Tabel 4. 19 <i>Impact Assessment</i> filter	86
Tabel 4. 20 <i>Impact Assessment</i> Reservoir.....	87

Tabel 4. 21 faktor kerusakan karakterisasi.....	89
Tabel 4. 22 Hasil <i>Characterization</i> Proses Pengolahan IPAM “X”	93
Tabel 4. 23 Faktor Normalisasi	94
Tabel 4. 24 Hasil Normalisasi Dampak Proses Pengolahan Air di IPAM “X”	98
Tabel 4. 25 Hasil Pembobotan Dari Pada Proses Pengolahan Air di IPAM “X”.	100
Tabel 4. 26 Hasil Single Score Dari Pada Proses Pengolahan Air di IPAM “X”.	103
Tabel 4. 27 Alternatif Perbaikan yang direncanakan	106
Tabel 4. 28 Pembobotan Pemilihan Kriteria Alternatif	111
Tabel 4. 29 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar kriteria	115
Tabel 4. 30 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	115
Tabel 4. 31 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan	115
Tabel 4. 32 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan	116
Tabel 4. 33 Normalisasi dan Pembobotan Antar kriteria.....	117
Tabel 4. 34 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	118
Tabel 4. 35 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan	118
Tabel 4. 36 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan pelaksanaan	118
Tabel 4. 37 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan biaya investasi dan produksi	119
Tabel 4. 38 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan	120
Tabel 4. 39 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan	120
Tabel 4. 40 <i>Index Random Consistency</i>	121
Tabel 4. 41 Konsistensi Antar Kriteria	122
Tabel 4. 42 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	122

Tabel 4. 43 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Kinerja Alternatif terhadap Dampak Lingkungan.....	122
Tabel 4. 44 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Kemudahan dalam Pelaksanaan	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bangunan Intake di IPAM “X”	13
Gambar 2. 2 Bangunan Pompa Air di IPAM “X”	14
Gambar 2. 3 Unit Aerator di IPAM “X”	15
Gambar 2. 4 Unit Prasedimentasi di IPAM “X”	16
Gambar 2. 5 Unit Koagulasi – Flokuasi di IPAM “X”	17
Gambar 2. 6 Unit clarifier di IPAM “X”	17
Gambar 2. 7 Unit filter di IPAM “X”	18
Gambar 2. 8 Diagram alir Instalasi Pengolahan Air Minum “X” ..	20
Gambar 2. 9 Ruang lingkup LCA	22
Gambar 2. 10 Tahapan LCA Penyusunan LCA	23
Gambar 2. 11 Penentuan Goal	27
Gambar 2. 12 Penentuan Scope	28
Gambar 2. 13 Data Inventory Process pada Software SimaPro 8.5	29
Gambar 2. 14 Prosentase Emisi pada Tiap Kegiatan Disetiap 14 Impact Category	30
Gambar 2. 15 Hasil Penyetaraan Satuan pada Impact Category yang Dipilih	30
Gambar 2. 16 Hasil Perkalian Impact Category dengan Weighting Category	31
Gambar 2. 17 Hasil Dampak Lingkungan dari Setiap Kegiatan (SimaPro Tutorial)	32
Gambar 2. 18 Skema Metode Impact 2002+	33
Gambar 2. 19 Memasukkan Goal dan Kriteria pada Expert Choice	44
Gambar 2. 20 Memasukkan Pembobotan Perhitungan Perbandingan	45
Gambar 2. 21 Memasukkan Skala Prioritas Perhitungan Antar Kriteria pada Expert Choice.....	45
Gambar 2. 22 Memasukkan Pembobotan Antar Alternatif pada Expert Choice	46
Gambar 2. 23 Sensitivity analysis pada Expert Choice	46

Gambar 4. 1 kesetimbangan massa unit intake	63
Gambar 4. 2 Kesetimbangan Massa Unit Aerator	64
Gambar 4. 3 Kesetimbangan Massa Unit Prasedimentasi	65
Gambar 4. 4 Hubungan Antara Nilai Kekerusuhan dan TSS.....	66
Gambar 4. 5 kesetimbangan massa unit koagulasi	68
Gambar 4. 6 kesetimbangan massa unit flokulasi	69
Gambar 4. 7 Kesetimbangan Massa Unit Clarifier	71
Gambar 4. 8 Kesetimbangan Massa Unit Filter	73
Gambar 4. 9 Kesetimbangan Massa Unit Desinfeksi.....	75
Gambar 4. 10 Kesetimbangan Massa Unit Reservoir	76
Gambar 4. 11 Kesetimbangan Massa Pada Proses Pengolahan Air Di IPAM “X”	78
Gambar 4. 12 Network unit Intake	80
Gambar 4. 13. Network Unit Aerator	81
Gambar 4. 14 Network Unit Prasedimentasi	82
Gambar 4. 15 Network Unit Koagulasi & Flokulasi	83
Gambar 4. 16 Network Unit Clarifier	84
Gambar 4. 17 Network Unit Filter	85
Gambar 4. 18 Network Unit Reservoir	86
Gambar 4. 19 Diagram Characterization Impact Assessment IPAM “X”	88
Gambar 4. 20 Diagram normalisasi yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X”	94
Gambar 4. 21 Diagram weighting yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X” pada software SimaPro 8.5.....	99
Gambar 4. 22 Diagram single score yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X” pada software SimaPro 8.5.....	102

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Kuisisioner Penentuan Alternatif.....	i
LAMPIRAN II <i>Network Tree Diagram</i> Proses Pengolahan Air Di IPAM “X”	ix
LAMPIRAN III Diagram Pengolahan Air Di IPAM “X”	x
LAMPIRAN IV Rekapitan Hasil Kuisisioner.....	xi

“halaman sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Permasalahan lingkungan semakin banyak dengan seiring bertambahnya jumlah penduduk dan industri. Permasalahan lingkungan ini terjadi dikarenakan banyaknya pencemaran lingkungan yang ada yang akan menyebabkan dampak yang besar (Riyanti dan Indarjanto, 2012). Permasalahan air bersih merupakan permasalahan yang paling penting dan fatal dikarenakan setiap manusia tidak bisa bertahan hidup tanpa menggunakan air. Kondisi sekarang ini, air bersih adalah barang yang langka apalagi di kota metropolitan. Hal ini disebabkan karena banyaknya sumber air yang tercemar yang diakibatkan oleh kegiatan industri dan masyarakat (Yunianto dan Ciptamulyono, 2008). Banyaknya sumber air yang tercemar maka diperlukan suatu badan yang dapat mengelola air agar kebutuhan akan air bersih dapat terpenuhi yang dikenal dengan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan institusi yang bertanggung jawab terhadap penyediaan air bersih bagi masyarakat. Dalam menghasilkan air bersih yang memenuhi kualitas yang baik sesuai dengan baku mutu yang digunakan maka diperlukan serangkaian pengolahan dengan teknologi yang tepat (Yunianto dan Ciptamulyono, 2008). Pengolahan air adalah suatu usaha teknis yang dilakukan untuk memberikan perlindungan pada sumber air dengan perbaikan mutu asal air sampai menjadi mutu yang diinginkan dengan tujuan agar aman dipergunakan oleh masyarakat pengonsumsi air minum. Secara umum tahap-tahap dari proses pengolahan air terdiri dari aerasi, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, desinfeksi dan reservoir (Narita *et al*, 2011). Pengolahan air bertujuan untuk memberikan kualitas air bersih yang baik bagi konsumen. Pengolahan yang dilakukan seperti perlindungan terhadap mikroorganisme, penghilangan zat organik, kualitas estetika dan perlindungan jaringan distribusi dari gangguan korosi dan kontaminasi (Bonton *et al*, 2012). Pengolahan membutuhkan bahan kimia seperti alum, garam besi dan koagulan dari bahan polimer, zat alkali dan juga senyawa untuk membunuh bakteri patogen misalnya gas khlor atau kaporit atau zat oksidant lainnya (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Belum lama ini, instalasi pengolahan air adalah salah satu fasilitas umum yang menyumbang emis gas CO₂ yang signifikan dengan memanfaatkan listrik dan bahan kimia yang besar (Raucher, 2008). Hal ini dikarenakan dalam setiap aktivitas proses pengolahan air menjadi air bersih, tentunya pada tiap proses tersebut menimbulkan dampak negatif pada lingkungan seperti penggunaan koagulan jenis PAC (*polyaluminium chloride*) dan *chlorine* dapat berdampak pada penipisan lapisan ozon. Proses pengolahan air dengan menggunakan teknologi *reverse osmosis* dan desalinasi memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan pengolahan air secara konvensional. Hasil penelitian ini menjelaskan untuk mengolah 200.000 m³ air baku, membutuhkan listrik sebesar 3638±503 kwh/hari dan emisi CO₂ yang disumbangkan dari proses pengolahan secara konvensional adalah 2031±281 kg CO₂/hari (Kyung *et al*, 2013). Untuk menganalisis proses yang mengakibatkan dampak paling besar bagi lingkungan dapat digunakan sebuah pendekatan yang dikenal dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan suatu metode untuk menyusun data secara lengkap, mengevaluasi dan mengkaji semua dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses, dan aktivitas. LCA dikembangkan salah satunya adalah untuk mengkaji dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik dan proses produksi (Haas, 2000). Pada pelaksanaannya digunakan *software* SimaPro 8.5 yang biasa dipakai sebagai perangkat untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi dan sumberdaya alam lainnya. LCA juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa (Rosmeika *et al*, 2010).

Setelah mengetahui seluruh emisi yang dihasilkan pada seluruh kegiatan proses, dipilihlah satu proses yang menimbulkan emisi terbesar pada LCA. Dari kegiatan pemilihan proses ini nantinya akan dilakukan suatu alternatif pada satu proses tersebut untuk mengurangi dampak tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penanganan apa saja yang dapat dilakukan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan dan dampak dihasilkan bagi lingkungan.

Berdasarkan pada uraian diatas maka dilakukan peneltian dengan judul “Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM “X” Dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dampak terhadap lingkungan pada serangkaian proses pengolahan air yang dihasilkan pada Instalasi Pengolahan Air Minum “X” dengan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA)?
2. Bagaimana cara mengurangi dampak terhadap lingkungan hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) pada IPAM “X”?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dampak terhadap lingkungan pada serangkaian proses pada IPAM “X” dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
2. Menentukan solusi untuk mengurangi dampak hasil pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) pada proses pengolahan air di IPAM “X”.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari dilakukan penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi kepada perusahaan mengenai dampak yang terjadi pada proses pengolahan air di IPAM “X”.
2. Memberikan solusi berupa alternatif-alternatif dalam mereduksi emisi berdasarkan dari hasil analisis *Life Cycle Assessment*.
3. Sebagai bahan evaluasi perusahaan dalam menganalisis aktivitas proses produksi yang ramah lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Pengambilan data dilakukan pada IPAM “X”.
2. Proses Analisis *Life Cycle Assessment* menggunakan program SimaPro 8.5 dengan ruang lingkup “*Cradle To Gate*”.

3. Kategori dampak yang dinilai yaitu *Global Warming*, *Respiratory inorganics*, dan *Ozone Layer depletion*.
4. Penentuan alternatif berdasarkan analisis dan saran dari para praktisi Operasional, Teknik, dan Produksi dengan metode kuisioner pada institusi tersebut.
5. Sistem yang dikaji adalah proses produksi air minum mulai dari sumber air baku hingga menghasilkan air terproduksi.
6. Parameter yang diperiksa yaitu kekeruhan, TDS (*Total Dissolved Solid*) , dan pH dari unit pengolahan di IPAM "X" yakni proses *intake*, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filter, desinfeksi dan reservoir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Mutu Air

Menurut PP No 82 Tahun 2001, Mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu. Klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas:

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang memper-syaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.2 Sumber Air Baku

Berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 menyatakan sumber air adalah wadah air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini akuifer, mata air, sungai, rawa, danau, situ, waduk, dan muara.

Sungai adalah salah satu sumber air yang paling sering digunakan sebagai sumber air baku dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari (Widyaningrum, 2016). Bertambahnya jumlah

penduduk dan perkembangan suatu kota akan berpengaruh terhadap sungai yang akan dijadikan sebagai sumber air baku (Unus, 2003).

Sungai juga dijadikan sebagai pembuangan limbah domestik yang mengakibatkan beban pencemar di sungai semakin besar dari waktu ke waktu (Mahyudin *et al*, 2015). Penurunan kualitas air terjadi sebagai akibat pembuangan limbah yang tidak terkendali dari aktivitas masyarakat di sepanjang sungai sehingga tidak sesuai dengan daya dukung sungai (Prihartanto dan Budiman, 2007).

2.3 Parameter Kualitas Air Minum

Parameter kualitas air minum mengenai standar kualitas air minum terdiri dari parameter wajib dan parameter tambahan yang dicantumkan pada Permenkes No.492 Tahun 2010 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Parameter Kualitas Air Minum

Jenis Parameter		Satuan	Kadar Maksimum Yang Di Perbolehkan
A	Parameter Mikrobiologi		
	E. Coli	Jumlah Per 100ml Sampel	0
	Total Bakteri Coliform	Jumlah Per 100ml Sampel	0
B	Parameter Fisik		
	Kekeruhan	NTU	5
	Total Zat Padat Terlarut (TDS)	Mg/L	500
C	Parameter Kimiawi		
	pH		6.5-8.5
	Aluminium	Mg/L	0.2
	Khlorida	Mg/L	250
	Kesadahan	Mg/L	500

Sumber : Kementerian Kesehatan, 2010

Parameter yang terdapat pada Permenkes No 492 tahun 2010 terdiri dari parameter mikrobiologi, parameter fisik dan parameter kimiawi. Parameter mikrobiologi adalah parameter yang membatasi jumlah maksimum *E.coli* dan total bakteri koliform per 100 ml sampel. Parameter fisik adalah parameter yang berhubungan dengan kondisi fisik air seperti bau, warna, total zat padat terlarut (TDS), kekeruhan, rasa dan suhu. Parameter kimiawi adalah parameter yang bersangkutan dengan kandungan unsur atau zat kimia yang berbahaya bagi manusia, yang terdiri dari kimia organik dan anorganik.

a) Kekeruhan

Kekeruhan dalam air berkaitan erat dengan intensitas cahaya. Kekeruhan air dapat ditimbulkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang terkandung di dalam air, seperti lumpur, plankton dan zat-zat halus lainnya (Sawyer *et al*, 2003).

b) pH (Derajat keasaman)

pH menunjukkan kadar asam atau basa yang terdapat dalam suatu larutan yang diketahui melalui konsentrasi ion hydrogen (H^+). pH merupakan singkatan dari power of hydrogen (Sawyer *et al*, 2003). Secara umum pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $pH > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa, sedangkan nilai $pH < 7$ menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaaan tertinggi (Tri Joko, 2010).

c) Total Dissolved Solid (TDS)

TDS adalah benda padat yang terlarut yaitu mineral, garam, logam serta kation-anion yang terlarut di air, termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H_2O). Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion di dalam air. Air yang mengandung TDS tinggi, sangat tidak baik untuk kesehatan manusia (Santoso, 2008).

2.4 Proses Pengolahan Air Minum

Pada dasarnya metode yang digunakan untuk pengolahan air dari berbagai sumber dan untuk berbagai tujuan dibedakan sebagai pengolahan secara fisik (unit operasi), pengolahan secara kimia (unit proses) dan pengolahan secara biologis (Budiyono dan Sumardiono, 2013).

- Proses pengolahan secara fisik

Proses pengolahan air secara fisik adalah pengolahan air tanpa adanya penambahan bahan kimia atau bahan lain untuk memisahkan zat padat atau pengotor yang terkandung dalam air baku (Masduqi dan Assomadi, 2012).

1. Penyaringan (Screening)

Penyaringan kasar (screening) bertujuan untuk menahan padatan yang terdapat dalam air baku dan menyaring benda-benda kasar terapung atau melayang di air agar tidak terbawa ke unit pengolahan selanjutnya (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Saringan kasar (bar screen) berfungsi untuk mencegah masuknya sampah-sampah berukuran besar dan saringan halus (fine screen) berfungsi untuk mencegah masuknya kotoran-kotoran maupun sampah berukuran kecil terbawa arus sungai (Anrianisa dan Sudiran, 2015).

Peletakan penyaringan menyesuaikan dengan kondisi *intake* yang digunakan. *Intake* merupakan bangunan penyalur air yang terletak pada lokasi yang dirancang dan dibangun dekat dengan sumber air, dapat menyediakan air dengan kualitas dan kuantitas yang harus terpenuhi dalam berbagai kondisi (Qasim *et al*, 2000).

2. Pengendapan

Berdasarkan jenis partikel yang akan diendapkan, pengendapan dibedakan menjadi 2 macam, yaitu prasedimentasi dan sedimentasi.

- Prasedimentasi

Pengendapan di prasedimentasi bertujuan untuk mengendapkan partikel diskret atau partikel kasar atau partikel lumpur. Partikel diskret adalah partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk dan ukuran

saat mengendap di air (Masduqi dan Assomadi, 2012).

- Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Pada proses sedimentasi jenis partikel yang diendapkan adalah partikel flokulen (Reynolds, 1992).

3. Filtrasi

Filtrasi adalah proses pengolahan air bersih yang bertujuan untuk memisahkan komponen padat pada air baik yang bersifat suspensi maupun koloid melalui media berpori (Quddus, 2014). Filtrasi juga bertujuan untuk mengurangi kandungan bakteri, warna, rasa, bau, besi, mangan dan alga yang terdapat pada air (Masduqi dan Assomadi, 2012).

- Proses pengolahan secara kimia

1. Koagulasi – flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang saling berkaitan dan tak bisa dipisahkan. Pada proses koagulasi dibubuhkan bahan kimia (koagulan) yang dapat mendestabilisasi koloid dan partikel yang terdapat dalam air (Karamah dan Lubis, 2016).

Pada proses koagulasi akan terbentuk presipitat atau yang biasa disebut dengan inti flok. Setelah inti flok terbentuk, inti flok tersebut akan bertumbukan yang mengakibatkan terjadinya penggabungan flok kecil menjadi flok besar, proses ini lah yang disebut dengan proses flokulasi (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Pada proses koagulasi dijelaskan bahwa ada pembubuhan bahan kimia yang disebut dengan koagulan. Pembubuhan koagulan bertujuan untuk membantu partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya secara gravitasi (Widyaningrum, 2016).

Pada Tabel 2.2 dibawah ini dijelaskan tentang kelebihan, kekurangan dan dosis dari beberapa koagulan.

Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kelemahan Koagulan

Jenis koagulan	Dosis (ppm)	Kelebihan	Kelemahan
Aluminium Sulfat	10-150	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai kekeruhan akhir rendah 2. Mudah digunakan 3. Tingkat keasaman rendah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah residu aluminium tinggi
PAC	3-50	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat digunakan pada semua tipe air baku 2. Keefektifan koagulasi tinggi 3. Dosis yang dibutuhkan sedikit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aluminium korosif terhadap logam
Sodium Aluminate	5-50	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efisiensi tinggi pada air yang bersifat asam 2. Dosis yang dibutuhkan sedikit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bersifat korosif 2. Mudah terbakar jika bereaksi dengan garam ammonium
Ferro Sulfat	5-150	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak menghasilkan residu aluminium 2. Tidak sensitif terhadap ph 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah residu besi yang dihasilkan tinggi 2. Bersifat korosif

Sumber : Widyaningrum,2016

Tabel 2. 3 Kelebihan dan Kelemahan Koagulan

Jenis koagulan	Dosis (ppm)	Kelebihan	Kelemahan
Ferri Sulfat	10-250	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efektif menurunkan zat organik 2. Rentang ph panjang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah residu besi yang dihasilkan tinggi 2. Bersifat korosif
Ferri Klorida	3-50	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efektif menurunkan zat organik 2. Rentang ph panjang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah residu besi yang dihasilkan tinggi 2. Bersifat korosif

Sumber : Widyaningrum,2016

2. Desinfeksi

Desinfeksi dimaksudkan untuk membunuh bakteri dan virus yang tidak diinginkan ada di air seperti mikroba yang bersifat patogen. Ada beberapa metode desinfeksi yang dapat digunakan yaitu kimiawi , fisik, dan radiasi (Hadi, 2012).

Metode secara kimiawi adalah dengan menggunakan bahan kimia yang disebut dengan desinfektan. Desinfektan yang umum digunakan adalah klor dan senyawanya, brom, iodin, ozon, dan fenol. Dari bahan kimia diatas, klor yang paling sering digunakan untuk air minum (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Metode secara fisik adalah desinfeksi yang dilakukan dengan pemberian perlakuan fisik terhadap mikroba seperti panas dan cahaya. Metode secara radiasi yaitu dengan pemaparan sinar ultra violet. Radiasi sinar UV mampu menembus dinding sel mikroba dan akan merusak replikasi sel (Masduqi dan Assomadi, 2012). Pada Tabel 2.2 akan dijelaskan mengenai perbandingan dari berbagai bahan desinfektan.

Tabel 2. 4 Perbandingan Berbagai Bahan Desinfektan.

Karakteristik	Klor	Natrium Hipoklorit	Kalsium Hipoklorit	Klor Dioksida	Ozon
Bentuk	Cair,gas	Larutan	Serbuk, pellet atau 1% larutan	Gas	Gas
Persen di pasaran	100	12-15	70	Hingga 0,35	2
Kestabilan	Stabil	Cairan kuning terang, tidak stabil	Stabil	Gas kuning kehijauan , mudah meledak	Tidak stabil
Toksistas terhadap mikroba	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Tingkat bahaya dalam penggunaan dan penanganan	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Tingkat korosi	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
Penghilangan bau	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
Harga	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	Tinggi
Penerapan secara umum	Pengendalian pertumbuhan lumpur, rasa dan bau, oksidasi ammonia, desinfeksi	Pengendalian pertumbuhan lendir, desinfeksi	Pengendalian pertumbuhan lendir, desinfeksi	Pengendalian pertumbuhan lendir, bau, desinfeksi	Pengendalian rasa, bau, oksidasi prekursor dan organik <i>refractory</i> , desinfeksi

Sumber : Qasim et al, 2000

2.5 Instalasi Pengolahan Air Minum “X”

Tujuan dari pengolahan air ini adalah untuk memproduksi air yang sesuai dengan standar baku mutu yang berlaku agar tidak menyebabkan gangguan bagi kesehatan ataupun lingkungan (Anrianisa dan Sudiran, 2015). Berikut merupakan bagan dari sistem pengolahan air minum di IPAM “X” .

1. *Intake*

Jenis *intake* yang digunakan pada Instalasi Pengolahan Air Minum “X” adalah jenis kanal *intake*. Terdapat saluran terbuka di tepi kali “X” untuk menangkap air yang kemudian akan dialirkan ke sumur penyeimbang secara gravitasi. Bangunan *intake* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Sumber: IPAM “X”, 2018

Gambar 2. 1 Bangunan Intake di IPAM “X”

2. Sumur penyeimbang

Sumur penyeimbang berguna untuk menampung air yang berasal dari *intake*. Sumur penyeimbang juga bertujuan untuk mengatur keseimbangan air baku yang mengalir ke masing- masing pompa intake (Damayanti, 2012). Spesifikasi sumur pengumpul pada IPAM “X” sebagai berikut:

- Panjang = 10,6 m
- Lebar = 6,6 m
- Dalam = 7,5 m

- Diameter pipa = 1300 mm
 - Volume = 524,7 m³
3. Pompa air baku
- Jenis pompa air baku yang digunakan pada Instalasi Pengolahan Air Minum “X” untuk menyalurkan air dari tepi kali “X” menuju ke instalasi pengolahan terdapat 2 jenis, yaitu pompa utama dan pompa tambahan. Jumlah pompa utama yang digunakan sebanyak 2 pompa dengan kapasitas masing-masing 1100 L/dt. Sedangkan jumlah pompa tambahan yang digunakan sebanyak 4 pompa namun yang digunakan hanya 3 pompa dan 1 pompa sebagai cadangan. Kapasitas masing-masing pompa tambahan adalah 100 L/dt (Widyaningrum, 2016). Bangunan pompa air baku dapat dilihat pada Gambar 2.2



Sumber : IPAM “X”, 2018
Gambar 2. 2 Bangunan Pompa Air di IPAM “X”

4. Aerator
- Air yang berada di sumur pengumpul akan dialirkan ke bak aerasi. Tujuan dialirkan ke bak aerasi adalah untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) pada air baku. Dengan meningkatnya kadar oksigen terlarut pada air dapat menurunkan kadar besi, mangan, bahan organik,

ammonia, dan sebagainya (Narita dkk, 2011). Spesifikasi Aerator IPAM “X” sebagai berikut:

- Tipe = *Multiple Tray Aerator*
- Diameter pipa inlet = 900 mm
- Panjang = 15,8 m
- Lebar = 9 m
- Tinggi = 3,32 meter
- Jumlah tray = 5 buah
- Jarak antar tray = 300 mm
- Outlet = kanal menuju ke prasedimentasi

Unit aerator dapat dilihat pada Gambar 2.3



Sumber: IPAM “X”, 2018
Gambar 2. 3 Unit Aerator di IPAM “X”

5. Prasedimentasi

Prasedimentasi atau biasa disebut bak pengendap I bertujuan untuk mengendapkan partikel diskrit. Partikel diskrit adalah partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk, ukuran, dan berat. Contoh partikel diskrit adalah lempung, pasir dan zat padat lainnya yang mengendap secara gravitasi (*Specific gravity* = 1,2 dan diameter = 0,05 mm). Dalam pengoperasiannya, prasedimentasi dapat mengurangi zat padat sebesar 50 % - 70% (Narita dkk, 2011). Spesifikasi Bak Prasedimentasi di IPAM “X” sebagai berikut:

- Panjang (P) = 80 m
- Jumlah bak = 5 bak
- Lebar (L) = 15 m
- Volume (V) = 3600 m³
- Dalam (H) = 3 m

Unit prasedimentasi dapat dilihat pada Gambar 2.4



Sumber : IPAM "X", 2018

Gambar 2. 4 Unit Prasedimentasi di IPAM "X"

6. Koagulasi dan Flokulasi

Air yang terdapat pada bak prasedimentasi kemudian dialirkan ke bak koagulasi secara gravitasi untuk ditambahkan koagulan. Terdapat beberapa jenis koagulan yang dapat digunakan. Pada pengolahan air di IPAM "X" koagulan yang digunakan adalah aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dengan penambahan polielektrolit sebagai koagulan pembantu. Spesifikasi Bak Koagulasi IPAM "X" sebagai berikut:

- Panjang (P) = 1 m
- Volume (V) = 3,5 m³
- Lebar (L) = 1,75 m
- Jumlah bak = 2 bak
- Tinggi (H) = 2 m

Unit koagulasi – flokuasi dapat dilihat pada Gambar 2.6



Sumber: IPAM “X”, 2018

Gambar 2. 5 Unit Koagulasi – Flokuasi di IPAM “X”

7. Clarifier

Proses sedimentasi pada IPAM “X” menggunakan clarifier. Clarifier yang digunakan pada IPAM “X” menggunakan V-Notch sebagai penahan partikel flokulan dengan massa jenis besar dan masuk ke dalam weir yang kemudian dialirkan ke unit filter. Spesifikasi Clarifier IPAM “X” sebagai berikut:

- Jumlah unit = 5 unit
- Lebar = 8,9 meter
- Tipe unit = rectangular
- Kedalaman = 6,5 meter
- Panjang = 18,25 meter

Unit clarifier dapat dilihat pada Gambar 2.6



Sumber : IPAM “X”, 2018

Gambar 2. 6 Unit clarifier di IPAM “X”

8. Filter

Pada umumnya terdapat 2 jenis filter yang digunakan yaitu filter pasir cepat dan filter pasir lambat. Di IPAM “X” filter yang digunakan untuk mengolah air adalah jenis filter pasir cepat karena pada *pretreatment* sebelumnya terdapat penambahan koagulan.

Spesifikasi Filter IPAM “X” sebagai berikut:

- Jumlah unit filtrasi = 12 unit
- Tipe media = dual media
- Lebar bak = 7,15 meter
- Panjang bak = 10 meter
- Kedalaman = 3,2 meter
- Arah aliran = down flow
- Kecepatan aliran = $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Unit filter dapat dilihat pada Gambar 2.7



Sumber: IPAM “X”, 2018

Gambar 2. 7 Unit filter di IPAM “X”

9. Desinfeksi

Spesifikasi Desinfeksi IPAM “X” sebagai berikut:

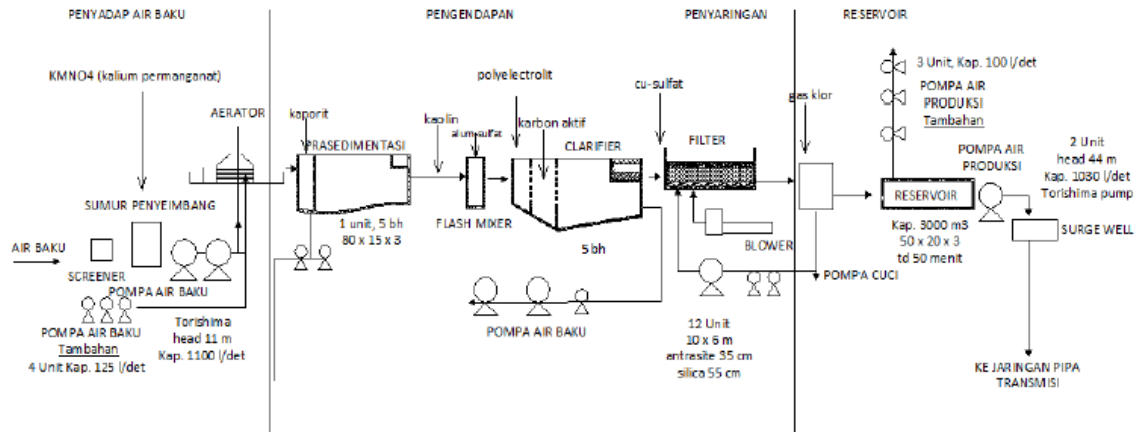
- Jumlah tabung chlor = 4 unit
- Tipe chlor = liquid (cair)
- Panjang = 10,1 meter
- Lebar = 5,9 meter
- Kedalaman = 5 meter

10. Reservoir

Spesifikasi Reservoir IPAM “X” sebagai berikut :

- Panjang : 30 meter
- Lebar : 20 meter
- Tinggi : 5 meter
- Volume : 3000 m³

Berikut merupakan bagan dari sistem pengolahan air minum di IPAM “X” yang dapat dilihat pada Gambar 2.8



Sumber : IPAM “x” 2018
Gambar 2. 8 Diagram alir Instalasi Pengolahan Air Minum “X”

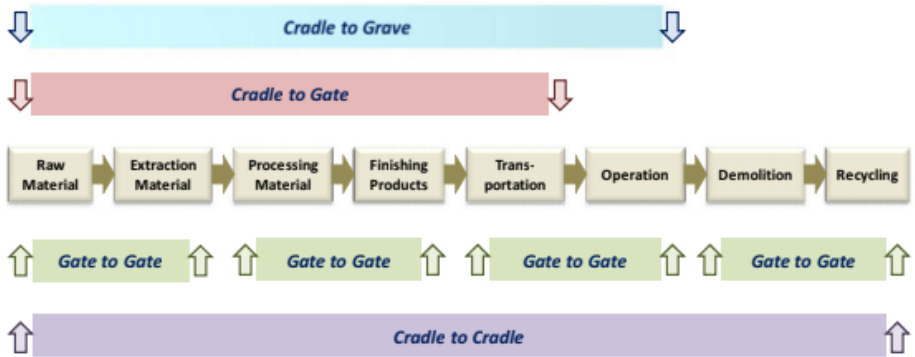
2.6 Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang akan dihasilkan (Hermawan *et al*, 2013).

LCA juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa (Rosmeika *et al*, 2010). LCA adalah pendekatan *cradle to grave* untuk menilai sistem industri. *Cradle to grave* dimulai dengan pengumpulan bahan baku dari bumi untuk menciptakan produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan dikembalikan ke bumi. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari semua tahapan dalam siklus hidup produk, sehingga akan diketahui bagian mana yang menimbulkan dampak terhadap lingkungan paling besar (Putri *et al*, 2014).

Pada metode LCA terdapat 4 ruang lingkup yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan berikut merupakan penjelasan masing-masing dari ruang lingkup yang terdapat pada metode LCA (Hermawan *et al*, 2013):

- a. *Cradle to grave*, ruang lingkup pada bagian ini dimulai dari raw material sampai pada pengoperasian produk.
- b. *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke *gate* sebelum proses operasi.
- c. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat.
- d. *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari raw material sampai pada daur ulang material



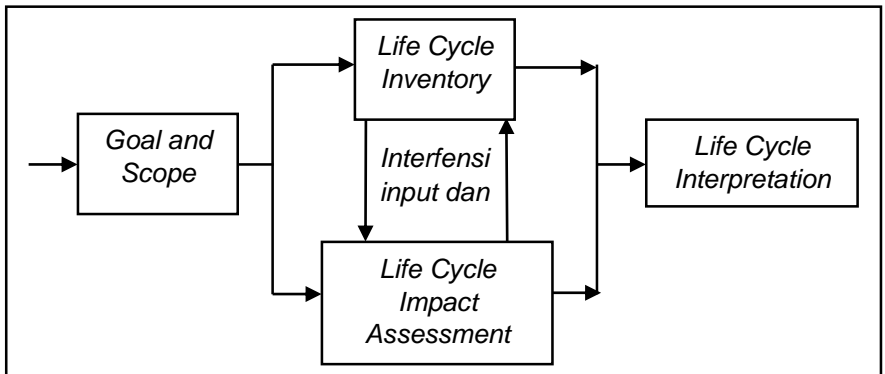
Gambar 2. 9 Ruang lingkup LCA
sumber : Hermawan et al, 2013

Setelah mengetahui dampak kritis dari seluruh kegiatan terhadap lingkungan maka diperoleh beberapa alternatif perbaikan untuk masing-masing kegiatan dalam *supply chain*. Alternatif perbaikan yang diusulkan untuk masing-masing rantai dapat digunakan sebagai dasar pembuatan alternatif untuk *life cycle* yang ada sehingga didapatkan *supply chain* yang sesuai dengan konsep *green supply chain management* (Putri et al, 2014).

• Tahapan LCA

Secara garis besar tahapan LCA terdiri dari penentuan *Goal* dan *Scope*. Kemudian setelah melakukan penentuan *Goal* dan *Scope*, penginput data yang didapatkan dari perusahaan sebagai input dan output yang terdapat pada perusahaan tersebut. Setelah dilakukan *Life Cycle Inventory*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *Life Cycle Impact Assessment*. Tahapan *Life Cycle Impact Assessment* bertujuan untuk mengetahui impact yang terjadi akibat dari *Life Cycle Inventory* yang diinput.

Fase LCA sesuai dengan ISO 14040 (Santoso *et al*, 2012) dapat dilihat pada Gambar 2.10:



Sumber : EPA ,2001

Gambar 2. 10 Tahapan LCA Penyusunan LCA

1. *Goal and Scope* bertujuan untuk merumuskan dan menggambarkan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan, dan asumsi yang berhubungan dengan dampak di sepanjang siklus hidup dari sistem yang dievaluasi. Serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA. Berikut Tabel 2.5 mengenai metode yang terdapat dalam SimaPro 8.5:

Tabel 2. 5 Metode pada SimaPro 8.5

No	Metode	Keterangan
1	CML-IA	Pendekatan titik tengah
2	Ecplogical Scarcity 2013	Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan- emisi polutan dan konsumsi sumber daya
3	EDIP 2003	Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product
4	EPD 2013	Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramah lingkungan

Sumber : Santoso *et al*, 2012

Tabel 2. 6 Metode pada SimaPro (lanjutan)

No	Metode	Keterangan
5	EPS 2000	Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas yang diharapkan dari suatu produk pengembangan.
6	Impact 2002+	Metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup
7	Recipe	Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan.
8	ILCD 2011 Midpoint+	Penerapan metode koreksi
9	Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)	Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja
10	IPCC 2013	Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun

Sumber : Santoso *et al*, 2012

2. *Life Cycle Inventory* (LCI) mencakup pengumpulan data dan perhitungan *input* dan *output* ke lingkungan dari sistem yang sedang dievaluasi. Fase ini menginventarisasi penggunaan sumber daya, penggunaan energi dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang dievaluasi.
3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) merupakan penanganan dari dampak terhadap lingkungan, semua dampak penggunaan dari

sumberdaya dan emisi yang dihasilkan dikelompokkan dan dikuantifikasi kedalam jumlah tertentu kategori dampak yang kemudian diberi bobot sesuai dengan tingkat kepentingannya. Tahapan pada LCIA sendiri terdiri dari *Characterization*, *Normalization*, *Weighting*, dan *Single score* yang memiliki penjelasan yaitu (Sitepu, 2011) :

- *Characterization* merupakan tahapan dimana keseluruhan *input* dan *output* akan dinilai kontribusinya sesuai dengan kategori dampak yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah suatu profil dampak lingkungan dari sistem yang diamati.
 - *Normalization* merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai dan akan dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya *valuation* adalah untuk mendapat nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga memudahkan interpretasi selanjutnya.
 - *Weighting* merupakan metode yang memperbolehkan tahapan pembobotan dalam *impact categories*. Hal ini berarti hasil dari *impact category indicator* akan dikalikan dengan *weighting factor*, dan akan diakumulasikan sebagai *total score*.
 - *Single score* memperlihatkan tiap-tiap proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan.
4. *Interpretation* merupakan integrasi dari hasil *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* yang kemudian digunakan untuk mengkaji, menarik kesimpulan dan rekomendasi yang konsisten dengan tujuan dan lingkup yang telah diformulasikan. Tujuan dari *Life Cycle Assessment* ini adalah untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk dan mengembangkan alternatif terbaik untuk memaksimalkan daur ulang bahan dan limbah serta untuk pencegahan polusi. Namun saat penggunaan metode ini terdapat kelebihan dan kelemahan. Beberapa kelebihan dari *Life Cycle Assessment* antara lain :
- Pengambilan keputusan yang lebih baik tentang pemilihan produk dan sistem produksi

- Dapat mengidentifikasi dampak utama terhadap lingkungan dan tahap-tahap daur hidup produk
- Menyediakan solusi dan alternatif terbaik yang berbasis lingkungan

Life Cycle Assessment juga mempunyai beberapa kelemahan dalam pelaksanaannya. Beberapa kelemahan tersebut antara lain:

- Kesulitan dalam menginterpretasikan data kuantitatif menjadi dampak lingkungan yang ditimbulkan
- Menyita waktu yang cukup lama untuk melakukan inventarisasi data.

2.7 Definisi SimaPro 8.5

SimaPro merupakan singkatan dari System for Integrated Environmental Assessment of Product. SimaPro merupakan salah satu software yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dampak lingkungan dari suatu sistem amatan tertentu. Data yang dimasukkan dalam software SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem amatan yang sudah dijelaskan sebelumnya meliputi distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar, 2015). Software SimaPro yang digunakan di dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.5. Software SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki update dari database dari standar-standar di dalam analisis ekologi dan pada versi terbaru ini memiliki database LCA atau database eko inventori yang terbaru. Hasilnya akan mengkalkulasi input seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan output suatu nilai grafik. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

- Bersifat fleksibel
- Dapat digunakan secara *multi-user-version* sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
- Memiliki metode dampak yang beragam
- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya
- Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah AHP

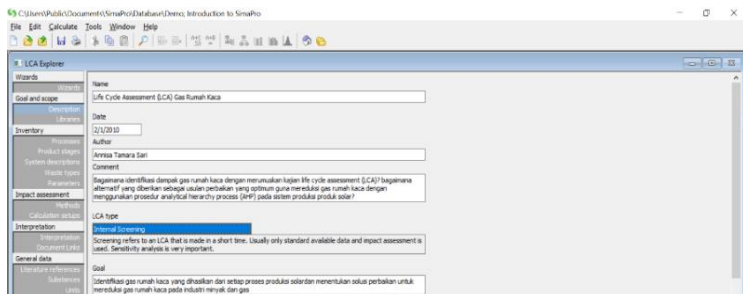
- Hadir dengan 3 versi yang diklasifikasikan berdasarkan pengguna
- *SimaPro Compact* : digunakan untuk mengatur tugas kompleks
- *SimaPro Analyst* : digunakan untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih
- *SimaPro Developer* : digunakan untuk untuk menciptakan alat penilaian siklus hidup yang berdedikasi dengan fitur diperpanjang seperti langsung menghubungkan dengan Excell

Terdapat beberapa tahapan pada SimaPro yakni:

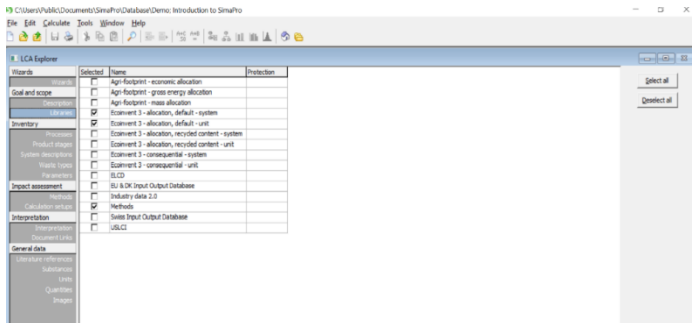
a) Menentukan *Goal and Scope*

- *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA
- Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan.

Penentuan *Goal* dan *Scope* dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial
Gambar 2. 11 Penentuan Goal



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial
Gambar 2. 12 Penentuan Scope

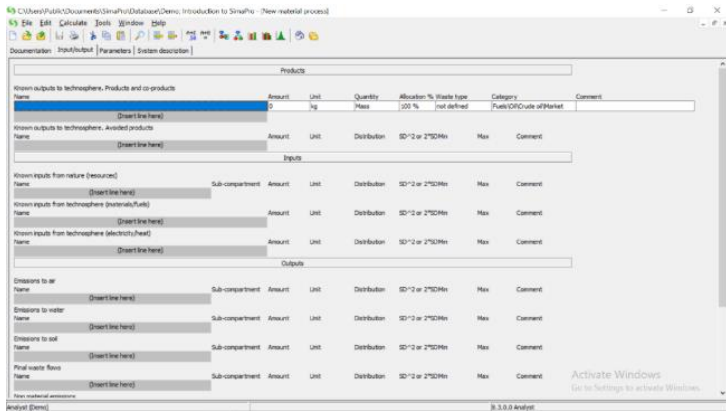
Pada tahap ini dipilih *scope* penelitian yang dipilih adalah *Industry data 2.0*. *Scope* ini dipilih dikarenakan fokus terhadap:

- *Input*
Input data ini berupa material dan energi yang digunakan pada kegiatan disetiap unit Instalasi Pengolahan Air Minum “X”.
- *Output*
Output pada pengolahan air berupa emisi dan dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan air.

b) Melakukan inventarisasi

- *Process*, merupakan input data mengenai *input* dan *output*, *documentation*, parameter, dan *system description* mengenai proses kegiatan industri tersebut.
- *Product stages*, mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan, dan dibuang.
- *System description*, rekaman terpisah untuk mendeskripsikan struktur dari sistem
- *Waste types*, terdapat *waste scenarios* (material dibuang) dan *disposal scenarios* (produk yang digunakan kembali).

Proses inventarisasi data pada *software* SimaPro 8.5 dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial

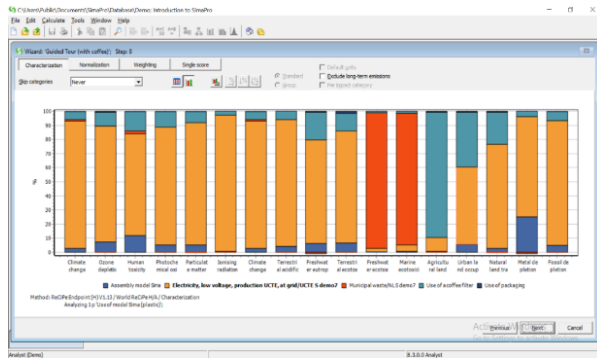
Gambar 2. 13 Data Inventory Process pada Software SimaPro 8.5

Pada tahap ini diinput data, seperti proses pada produksi listrik yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kemudian dimasukkan limbah dan beban emisi yang dihasilkan, dimana data ini dalam jumlah per tahun.

c) Penilaian terhadap cemaran

- *Characterization*, merupakan senyawa kimia pada suatu proses yang memiliki kontribusi pada 14 *impact category* yang terdapat pada LCA. Pada *characterization* akan disajikan nilai prosentase masing masing emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 1 *impact category*

Prosentase Emisi pada Tiap Kegiatan Disetiap 14 *Impact Category* dapat dilihat pada Gambar 2.14.

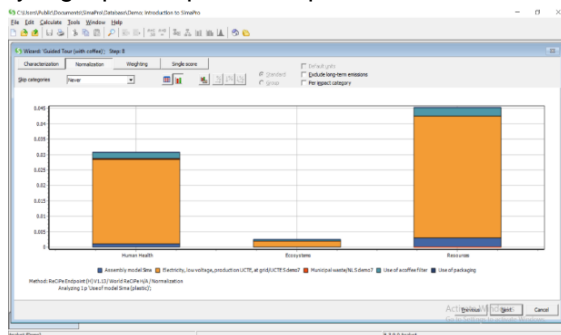


Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial

Gambar 2. 14 Prosentase Emisi pada Tiap Kegiatan Disetiap 14 Impact Category

- *Normalization*, merupakan penilaian dengan membandingkan hasil dari *impact category indicator* dengan nilai normal. Hal ini bertujuan menyetarakan satuan sesuai ketentuan satuan masing-masing *impact category* secara internasional. Seperti pada *impact climate change*, hasil emisi dikonversi menjadi CO_{2e}.

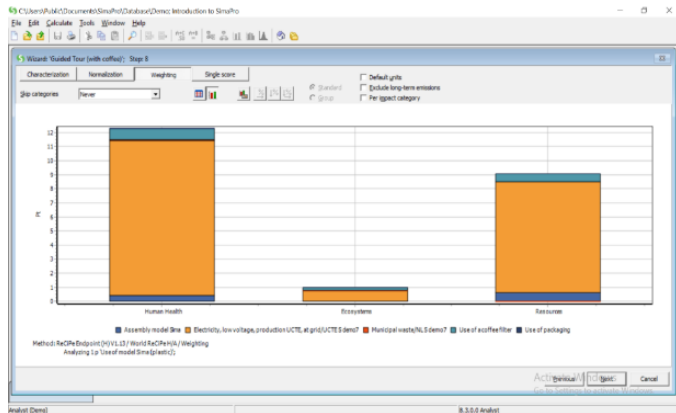
Hasil Penyetaraan Satuan pada *Impact Category* yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 2.15



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial

Gambar 2. 15 Hasil Penyetaraan Satuan pada Impact Category yang Dipilih

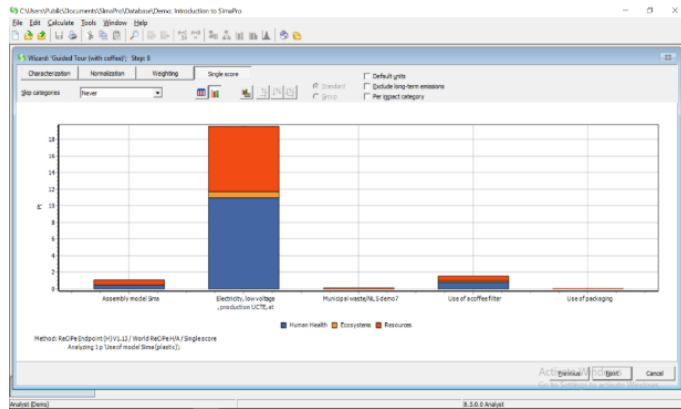
- *Weighting*, merupakan proses mengkalikan *impact category indicator* dengan *weighting score* dan diakumulasikan sebagai *total score*. Hasil Perkalian *Impact Category* dengan *Weighting Category* dapat dilihat pada Gambar 2.16



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial

Gambar 2. 16 Hasil Perkalian Impact Category dengan Weighting Category

- *Single score*, merupakan proses yang memperlihatkan proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan. Hasil Dampak Lingkungan dari Setiap Kegiatan dapat dilihat pada Gambar 2.17



Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial

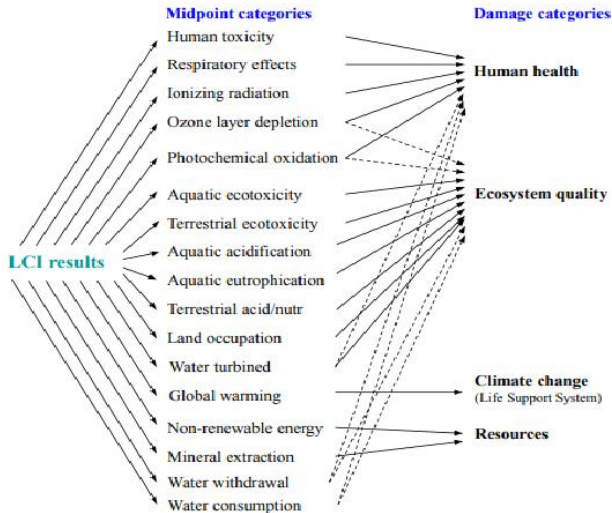
Gambar 2. 17 Hasil Dampak Lingkungan dari Setiap Kegiatan (SimaPro Tutorial)

d) Interpretasi data

Mengevaluasi suatu kesimpulan untuk digambarkan dan bagaimana dapat dipertanggung jawabkannya.

2.8 Metode Impact 2002+

Tahapan *Life Cycle Impact Assessment* pada software SimaPro ada beberapa metode yang digunakan sesuai dengan yang terdapat pada Tabel 2.4. Pada penelitian ini digunakan metode impact 2002+. Metode Impact 2002+ merupakan metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup. Pada Gambar 2.18 dapat dilihat skema dari Metode Impact 2002+ yang menghubungkan semua jenis *Life Cycle Inventory* (LCI) melalui beberapa midpoint categories. Panah pada gambar menunjukkan jalur dampak yang relevan yang diketahui atau diasumsikan ada. Jalur dampak pasti antara midpoint dan damage yang tidak dimodelkan kuantitatif ditunjukkan oleh garis putus-putus.



Gambar 2. 18 Skema Metode Impact 2002+

Konsep dan metode baru untuk penilaian perbandingan toksisitas manusia dan ekotoksistas dikembangkan untuk Metode Impact 2002+ . Untuk kategori lain, Metode Impact 2002+ mengadopsi terutama dari Eco-indikator 99 (Goedkoop dan Spriensma 2000), metodologi CML 2002 (Guinée et al. 2002), daftar IPCC (IPCC 2001), daftar USEPA ODP (EPA), database ecoinvent (Frischknecht et al. 2003), dan Maendly dan Humbert (2011) untuk turbin air. Pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8 akan menjelaskan mengenai karakteristik pada Metode Impact 2002+.

Tabel 2. 7 Sumber utama untuk faktor karakterisasi, zat referensi dan kerusakan unit yang digunakan pada Metode Impact 2002+

Midpoint Category	Unit	Damage Category	Damage Unit
Human toxicity (carcinogens + non-carcinogens)	Kg Chloroethylene into air-eq	Human health	DALY
Respiratory (inorganics)	Kg PM _{2.5} into air-eq	Human health	
Ionizing radiations	Bq Carbon-14 into air-eq	Human health	
Ozone layer depletion	Kg CFC-11 into aireq	Human health	
Photochemical oxidation (= Respiratory (organics) for human health)	Kg Ethylene into aireq	Human health	
		Ecosystem quality	N/a
Aquatic ecotoxicity	Kg Triethylene glycol into water-eq	Ecosystem quality	
Terrestrial ecotoxicity	Kg Triethylene glycol into soil-eq	Ecosystem quality	PDF·m ² ·y
Terrestrial acidification/nutrient enrichment	Kg SO ₂ into air-eq	Ecosystem quality	

Sumber : IMPACT 2002+ A New Life Cycle Assessment Methodology (2003)

Tabel 2. 8 Sumber Utama Untuk Factor Karakterisasi, Zat Referensi dan Kerukan Unit yang Digunakan Pada Metode Impact 2002+

Midpoint Category	Unit	Damage Category	Damage Unit
Aquatic acidification	Kg SO ₂ into air-eq	Ecosystem quality	PDF.m ² ·y
Aquatic eutrophication	Kg PO ₄ ³⁻ into water - eq	Ecosystem quality	
Land occupation	M ² Organic arable land-eq · y	Ecosystem quality	
Water turbined	Inventory in m ³	Ecosystem quality	
Global warming	Kg CO ₂ into air-eq	Climate change (life support system)	Kg CO ₂ into air-eq
Non-renewable energy	MJ or kg Crude oileq (860 kg/m ³)	Resources	MJ
Mineral extraction	MJ or kg Iron-eq (in ore)	Resources	
Water withdrawal	Inventory in m ³	N/a	N/a
Water consumption	Inventory in m ³	Human health	DALY
		Ecosystem quality	PDF·m ² ·y
		Resources	MJ

Sumber : IMPACT 2002+ A New Life Cycle Assessment Methodology (2003)

Pada Metode Impact 2002+ terdapat beberapa jenis unit yang digunakan antara lain :

- "kg substance s-eq" (setara kg dengan substansi referensi) menyatakan jumlah substansi referensi yang setara dengan dampak polutan yang dipertimbangkan dalam kategori midpoint seperti Global warming potential pada 100- y menghasilkan fosil metana 27,75 kali lebih tinggi daripada CO₂, sehingga CF-nya adalah 27,75 kg CO₂-eq.
- DALY " *Disability-Adjusted Life Years* " mencirikan keparahan penyakit, tahun hidup yang hilang karena kematian premature dan waktu hidup dengan kualitas yang lebih rendah karena penyakit. Nilai standar DALY dari 13 dan 1,3 (tahun / kejadian) diadopsi untuk sebagian besar efek karsinogenik dan non-karsinogenik. Sebagai contoh, suatu produk yang memiliki skor kesehatan manusia 3 DALY menyiratkan hilangnya tiga tahun kehidupan atas keseluruhan populasi.
- "PDF·m²· y" (Potentially Disappeared Fraction of species over a certain amount of m² during a certain amount of year) adalah unit untuk "mengukur" dampak pada ekosistem. The PDF·m²·y mewakili fraksi spesies menghilang pada 1 m² permukaan bumi selama satu tahun. Misalnya, produk yang memiliki skor kualitas ekosistem 0,2 PDF·m²·y berarti hilangnya 20% spesies pada 1 m² permukaan bumi selama satu tahun.
- MJ "Mega Joule" mengukur jumlah energi yang diambil atau dibutuhkan untuk mengekstraksi sumber daya.

Midpoint category menjelaskan dampak yang dihasilkan pada proses pengolahan akibat emisi dan penggunaan sumber daya alam yang digunakan selama proses produksi, penggunaan dan pembuangan produk. Terdapat beberapa midpoint categories pada metode impact 2002+ sebagai berikut :

1) *Human toxicity (carcinogenic and non-carcinogenic effects)*

Toksistas manusia mewakili semua efek pada kesehatan manusia, kecuali untuk efek pernapasan yang disebabkan oleh anorganik, efek radiasi pengion, efek penipisan lapisan ozon dan efek oksidasi fotokimia yang dianggap secara terpisah. Hal ini terutama disebabkan karena evaluasi mereka didasarkan pada pendekatan yang berbeda.

2) *Respiratory effects (caused by inorganics)*

Kategori dampak ini mengacu pada efek pernapasan yang disebabkan oleh zat anorganik. Titik tengah cfs dinyatakan dalam kg PM_{2.5} ke udara-eq / kg dan diperoleh dengan membagi faktor kerusakan zat yang dipertimbangkan oleh faktor kerusakan dari substansi referensi (PM_{2.5} ke udara). Partikulat (PM) dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran partikel. PM_{2.5} mencakup semua partikel <2.5 µm, PM₁₀ mencakup semua partikel <10 µm dan pmtot mencakup semua partikel < 100µm.

3) *Ionizing radiation*

Untuk kategori dampak Ionizing radiation, CF diberikan untuk emisi ke udara dan air. Tidak ada CF saat ini tersedia untuk emisi ke dalam tanah. Unit pada dampak ini dinyatakan dalam Bq Carbon-14 eq ke udara dan diperoleh dengan membagi faktor kerusakan zat yang dipertimbangkan oleh faktor kerusakan dari substansi referensi (Karbon-14 ke udara).

4) *Ozone layer depletion*

Penipisan lapisan ozon diberikan untuk emisi ke udara saja, karena tidak sangat mungkin bahwa polutan yang dianggap akan dipancarkan ke tanah atau air. Unit pada kategori dampak ini dinyatakan dalam kg CFC-11-eq ke udara dan diperoleh dari *US Environmental Protection Agency Ozone Depletion Potential List* (EPA).

5) Photochemical oxidation

Oksidasi fotokimia diberikan untuk emisi ke udara saja, karena tidak sangat mungkin bahwa polutan yang dianggap akan dipancarkan ke tanah atau air. Namun memberikan dampak terhadap kesehatan manusia dan juga terhadap kualitas ekosistem. Dampak oksidasi fotokimia pada kesehatan manusia kadang-kadang berupa efek pernapasan dari organ dan dampak pada kualitas ekosistem berupa Oksidasi fotokimia diketahui memiliki dampak pada pertumbuhan tanaman. Namun, saat ini tidak ada penelitian yang mendukung perhitungan kerusakan pada kualitas ekosistem karena oksidasi fotokimia.

6) Aquatic ecotoxicity

Dampak lingkungan yang diukur terpisah menjadi 2 bagian yaitu air tawar dan air laut. Ekotoksitas air untuk logam berat hanya berlaku untuk logam yang dipancarkan dalam bentuk terlarut (ion). Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dalam kg Triethylene glycol $^{-eq}$ ke air dan dinyatakan dalam $PDF \cdot m^2 \cdot y/kg$.

7) Terrestrial ecotoxicity

Ekotoksitas terestrial dihitung dengan cara yang sama seperti ekotoksitas air untuk emisi ke udara, air dan tanah. Logam berat hanya berlaku untuk logam yang dipancarkan dalam bentuk terlarut (ion). Diperkirakan bahwa zat tersebut memiliki efek ekotoksik hanya melalui pemaparan melalui fase air di dalam tanah. Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dalam kg Triethylene glycol $^{-eq}$ ke tanah dan dinyatakan dalam $PDF \cdot m^2 \cdot y/kg$.

8) Aquatic acidification

Kategori dampak ini merupakan dampak yang dapat menyebabkan hujan asam ataupun polusi air. Hujan asam memiliki beberapa kerugian seperti dapat mengikis bangunan dan menurunkan kualitas air. Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dalam kg SO_2 $^{-eq}$ ke udara dan dinyatakan dalam $PDF \cdot m^2 \cdot y/kg$.

9) *Aquatic eutrophication*

Kategori dampak ini merupakan dampak yang dapat menyebabkan polusi air akibat kelebihan nutrient pada tumbuhan terutama fosfor. Model faktor efek dibuat berdasarkan kurva dosis-efek. Untuk menghitung kurva dosis-efek, perubahan konsentrasi "eutrofikasi" zat terkait dengan efek pada ekosistem akuatik Eropa. Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dalam $\text{kg PO}_4^{3-}\text{-eq ke udara}$.

10) *Terrestrial acidification & nitrification*

Dampak yang dihasilkan pada kategori ini hanya untuk emisi ke udara. Tidak ada dampak saat ini tersedia untuk emisi ke tanah dan air. Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dalam $\text{kg SO}_2\text{-eq ke udara}$ dan dinyatakan dalam $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y/kg}$

11) *Land occupation*

Pada kategori ini merupakan dampak yang terjadi terhadap kondisi tanah. Hal ini diakibatkan oleh kegiatan ekstraksi sumber daya. Dampak yang ditimbulkan berupa hilangnya spesies dan lahan dan juga kandungan organik pada tanah. Unit pada kategori ini dinyatakan dalam $\text{m}^2 \text{Organik tanah garapan-eq} \cdot \text{y} / \text{m}^2 \cdot \text{y}$ dan diperoleh dengan membagi kerusakan dari aliran jenis tanah dengan kerusakan dari aliran tanah garapan organik.

12) *Water turbined*

Inventarisasi air yang hanya digunakan oleh turbin (dalam waduk tenaga air) untuk energi (yaitu, listrik) generasi dinyatakan dalam $\text{m}^3 \text{air}$. Ini adalah jumlah dari jumlah total air yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik yang diperlukan selama proses siklus hidup. Dampak potensial dari turbin air, misalnya, pada kualitas ekosistem, keanekaragaman hayati atau kesehatan manusia. Unit yang digunakan pada kategori ini adalah $\text{m}^3 \text{air turbin}$ dan dinyatakan dalam $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y} / \text{m}^3$.

13) *Global warming*

Dampak pemanasan global diberikan hanya untuk emisi ke udara. Pada tingkat kerusakan, dampak dari

pemanasan global disajikan dalam kategori kerusakan terpisah yang dinyatakan dalam kg CO₂-eq ke udara / kg. Terdapat beberapa gas yang dapat menyebabkan pemanasan global seperti CH₄ dan CO₂. Gas CH₄ akan terdegradasi menjadi CO₂. Sedangkan untuk CO berdasarkan stoikiometri akan menjadi CO₂.

Dampak yang dapat disebabkan akibat *global warming* adalah sebagai berikut:

- Peningkatan muka air laut, air pasang dan musim hujan yang tidak menentu menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir.
- adanya pemanasan global yang dapat menyebabkan menipisnya lapisan ozon yang menyelimuti Bumi.
- Mencairnya es dibagian kutub utara dan selatan
- Banyak penyakit yang dapat timbulkan dari pemanasan global ini. Penyakit yang dapat ditimbulkan tersebut antara lain stress, gangguan kardiovaskular, hingga stroke.

14) ***Non-renewable energy***

Dampak untuk konsumsi energi tak terbarukan, dalam hal total energi utama yang diekstraksi, dihitung menggunakan upper heating values, dinyatakan dalam MJ total energi / unit utama yang tidak dapat diekstraksi (unit adalah kg atau m³). Unit yang digunakan pada kategori dampak ini dapat dinyatakan dalam kg Crude oil -eq (860 kg / m³) / kg diekstraksi). Namun, ini tidak disarankan untuk digunakan.

15) ***Mineral extraction***

Kerusakan CF untuk ekstraksi mineral dinyatakan dalam energi surplus MJ / kg diekstrak. Surplus energi menyatakan peningkatan yang diharapkan dari energi ekstraksi yang diperlukan untuk mengekstrak 5 kali jumlah ekstraksi kumulatif sejak awal ekstraksi hingga 1990 (Goedkoop dan Spriensma, 2000). Unit yang digunakan pada kategori ini dapat dinyatakan dalam

kg Besi-eq (dalam bijih) -eq / kg diekstraksi. Namun tidak direkomendasikan untuk digunakan.

16) **Water withdrawal**

Inventarisasi Water withdrawal termasuk penggunaan air yang dinyatakan dalam m^3 air yang dibutuhkan, diupkan, dikonsumsi atau dilepas lagi ke hilir, tanpa air yang dimurnikan yaitu, air yang mengalir melalui bendungan tenaga air. Ini mempertimbangkan air minum, air irigasi dan air untuk dan dalam proses industri (termasuk air pendingin). Ini menganggap air tawar dan air laut.

17) **Water consumption**

Konsumsi air dapat menjadi bagian dari Water withdrawal. Perhatikan bahwa air yang menguap dari bendungan kadang-kadang termasuk dalam nilai-nilai Water withdrawal, dan kadang-kadang tidak. Karena ketidakmampuan saat ini dari perangkat lunak utama untuk melakukan penilaian yang terdiferensiasi secara spasial, indikator persediaan "konsumsi air" digunakan dalam profil titik tengah. Oleh karena itu, titik tengah hanya berdasarkan volume air yang dikonsumsi dinyatakan dalam m^3 .

2.9 Perhitungan Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah prosedur yang berbasis matematis yang sangat baik dan sesuai untuk kondisi evaluasi atribut-atribut kualitatif. Atribut-atribut tersebut secara matematik dikuantitatif dalam 1 set perbandingan berpasangan. Kelebihan AHP dibandingkan yang lainnya karena adanya struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai kepada sub-sub kriteria yang paling mendetail. (Saaty, 1990). Karena menggunakan input persepsi manusia, model ini dapat mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Jadi kompleksitas permasalahan yang ada di sekitar kita dapat didekati dengan baik oleh model AHP ini. Prinsip Kerja Analytical Hierarchy Process (AHP)

1. Identifikasi Faktor Penyebab
2. Penyusunan Hirarki

Hirarki adalah abstraksi struktur suatu sistem yang mempelajari fungsi interaksi antara komponen dan juga dampak-dampaknya pada sistem. Penyusunan hirarki atau struktur keputusan dilakukan untuk menggambarkan elemen sistem atau alternatif keputusan yang teridentifikasi.

3. Penentuan Prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, dilakukan perbandingan berpasangan (pairwise comparison) yaitu membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya pada setiap tingkat hirarki secara berpasangan sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk pendapat kualitatif. Untuk mengkuantifikasikan pendapat kualitatif tersebut digunakan skala penilaian sehingga akan diperoleh nilai pendapat dalam bentuk angka (kuantitatif). Nilai-nilai perbandingan relative kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif.

4. Konsistensi

Saaty's AHP juga memberikan pertimbangan terhadap pertanyaan mengenai logika konsistensi dari evaluator. Indeks konsistensi (CI) adalah perhitungan matematis untuk setiap perbandingan berpasangan---matrik perbandingan. CI ini menyatakan deviasi konsistensi. Kemudian indeks acak (Random index/RI), sebagai hasil dari respon acak yang mutlak dibagi dengan CI dihasilkan rasio konsistensi (CRs). Semakin tinggi CRs maka semakin rendah konsistensi, demikian juga sebaliknya

5. Bobot Prioritas

Hasil perbandingan berpasangan AHP dalam bobot prioritas yang mencerminkan relative pentingnya elemen-elemen dalam hirarki. (Makkasau, 2012)

2.10 Penggunaan Expert Choice untuk AHP

Expert Choice adalah sebuah aplikasi yang khusus digunakan sebagai alat bantu implementasi model-model dalam *Decision Support System* (DSS) atau yang lebih dikenal dengan sebutan Sistem Penunjang Keputusan (SPK) dalam sebuah

perusahaan ataupun untuk keperluan akademik. Beberapa kemudahan terdapat dalam *Expert Choise* dibandingkan dengan *software* sejenis (Nasution, 2013), kemudahan-kemudahan tersebut antara lain:

- Fasilitas *Graphical User Interface* (GUI) yang mudah digunakan. Sehingga cocok digunakan baik bagi kalangan perusahaan ataupun bagi kalangan akademik yang baru saja mempelajari tentang seluk beluk Sistem Penunjang Keputusan
- Banyak fitur-fitur yang menyediakan pemodelan Decission Support System secara baik, tanpa perlu melakukan instalasi atau setting ulang parameter yang terlalu banyak

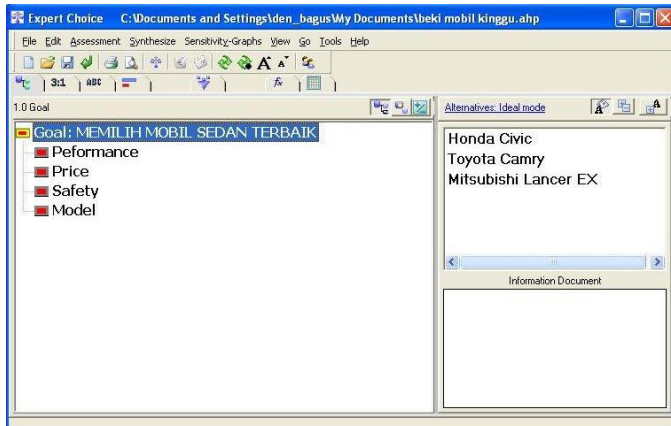
Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menentukan keputusan-keputusan yang sulit untuk dipecahkan ataupun diputuskan oleh para pengambil keputusan. Software ini memiliki tingkat ke akuratan yang tinggi untuk metode Proses Hirarki Anatilik (AHP), bilamana didukung dengan data-data yang konsisten.

Cara menggunakannya adalah dengan cara sebagai berikut (Lestari, 2009):

1. Memasukkan *goal*, kriteria, dan alternatif

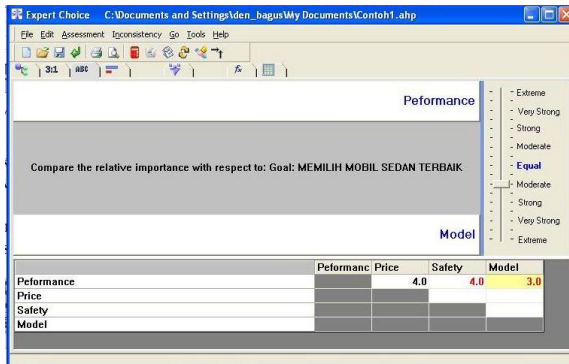
Tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan pada *Expert Choice*. Mencantumkan *goal* atau tujuan dari dari penelitian pada kolom yang tersedia. Kemudian dilakukan input data alternatif sebagai output yang akan dipilih dalam keputusan. Alternatif didapat dari hasil penilaian pada LCA. Kemudian, dilakukan penentuan kriteria yang mendukung penelitian dalam mengambil

keputusan. Kriteria ditentukan berdasarkan prespektif dan pandangan dari peneliti.

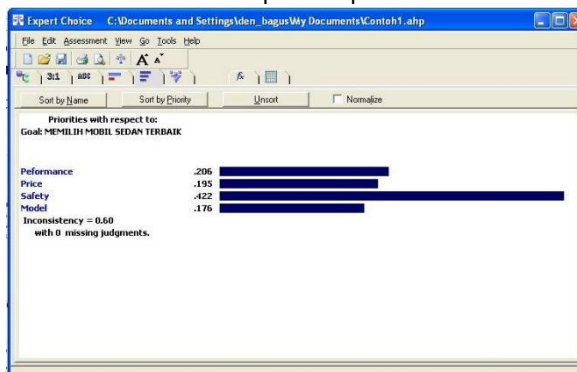


Gambar 2. 19 Memasukkan Goal dan Kriteria pada Expert Choice

2. Melakukan perhitungan dengan membandingkan satu kriteria terhadap kriteria yang lain. Sebelum melakukan perhitungan, masing – masing kriteria yang telah ditetapkan pada tahap sebelumnya akan dilakukan proses pembobotan. Kemudian dilakukan perbandingan antar alternatif pada tiap kriteria yang telah ditetapkan. Nilai yang diinput merupakan nilai hasil wawancara dan perspektif peneliti. Pada tiap nilai memiliki nilai kepentingan sendiri (pada Gambar 2.20). Setelah pembobotan, peneliti melakukan skala prioritas dari seluruh kriteria tersebut (pada Gambar 2.21).

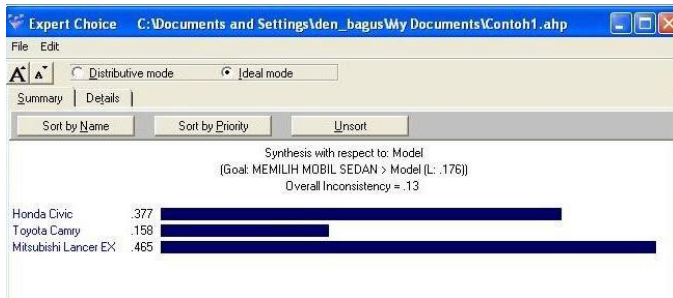


Gambar 2. 20 Memasukkan Pembobotan Perhitungan Perbandingan Antar Kriteria pada Expert Choice



Gambar 2. 21 Memasukkan Skala Prioritas Perhitungan Antar Kriteria pada Expert Choice

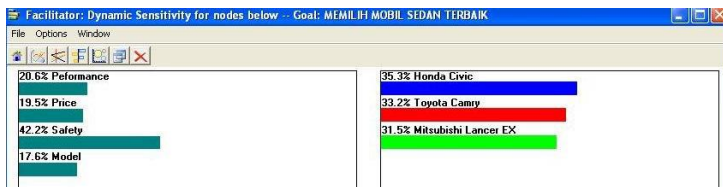
3. Menghasilkan jawaban atau keputusan yang dianjurkan untuk di pilih Tahap ini merupakan tahap akhir dalam pengambil keputusan dengan *Expert Choice*. Terdapat 2 tahap yakni:
 - *Synthesizing* untuk mendapatkan hasil
Merupakan hasil sintesa pada alternatif dimana dilakukan pembobotan terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan peneliti.



Gambar 2. 22 Memasukkan Pembobotan Antar Alternatif pada Expert Choice

- *Sensitivity analysis*

Sensitivity Analysis dilakukan untuk mengetahui variasi dari prioritas kriteria untuk mengamati sejauh mana efeknya terhadap prioritas alternatif.



Gambar 2. 23 Sensitivity analysis pada Expert Choice

Dalam memilih kriteria pada setiap masalah pengambilan keputusan perlu memperhatikan kriteria sebagai berikut:

1. Lengkap, mencakup aspek penting dan digunakan dalam mengambil keputusan
2. Operasional, setiap kriteria mempunyai arti bagi pengambil keputusan
3. Tidak berlebihan, menghindari adanya kriteria yang mengandung pengertian yang sama
4. Minimum, diusahakan agar jumlah kriteria minimum untuk mempermudah pemahaman .

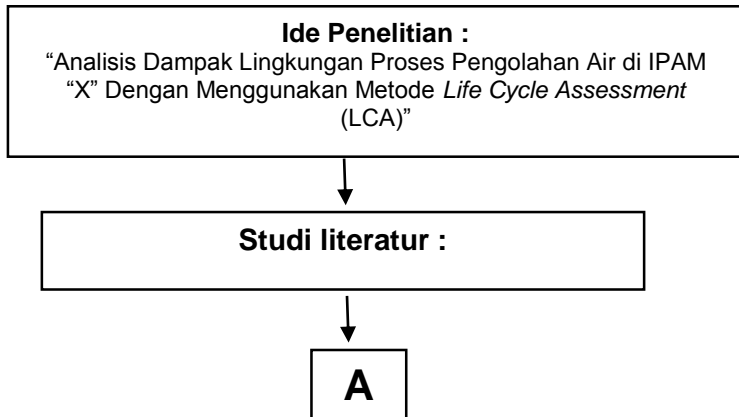
BAB III METODE PENELITIAN

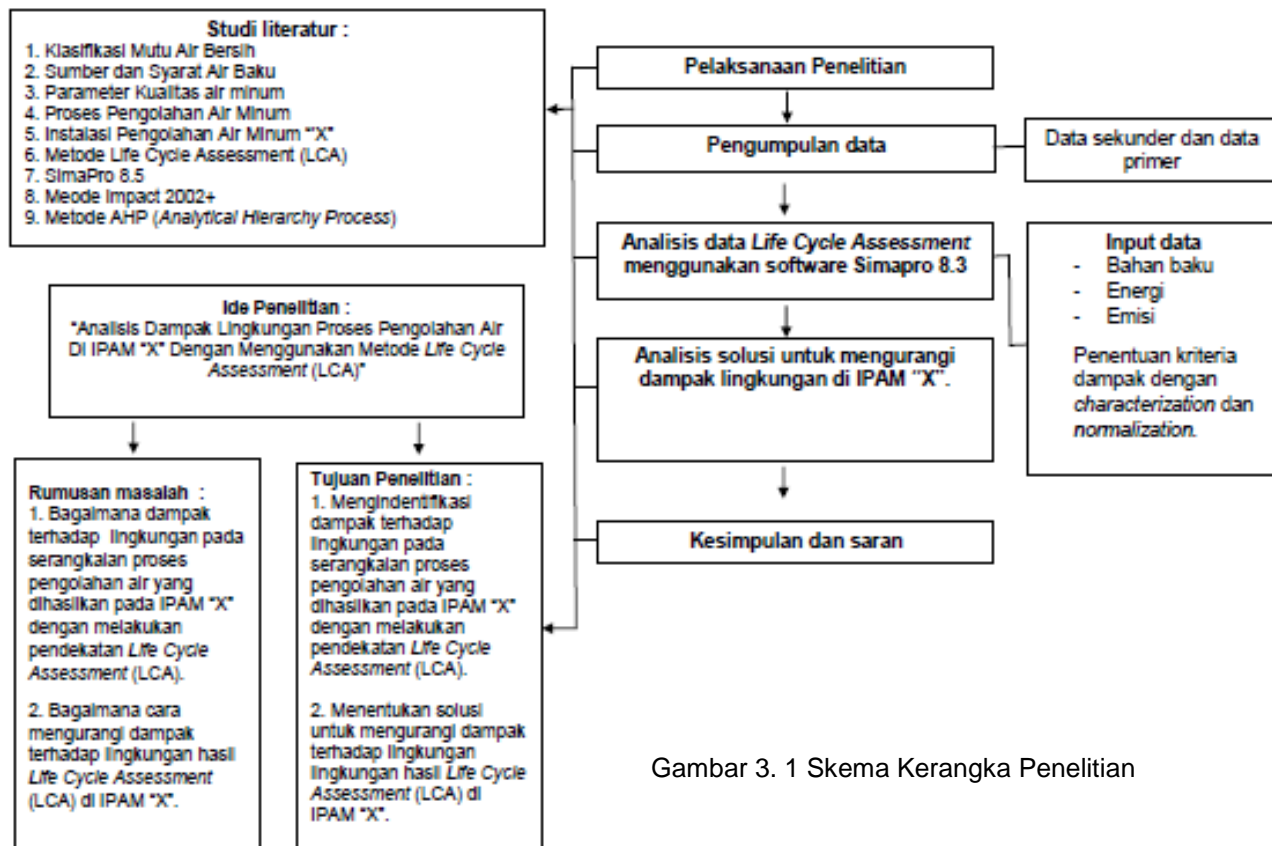
3.1 Deskripsi umum

Metode penelitian digunakan sebagai acuan prosedur dan langkah-langkah sistematis dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dalam proses produksi IPAM “X” terhadap lingkungan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Pada penelitian yang diteliti adalah permasalahan pada proses pengolahan yaitu proses intake, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filter, dan reservoir.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Penyusunan kerangka penelitian disusun dengan jelas dan sistematis bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian, mencapai tujuan dan perbaikan yang diperlukan. Skema kerangka penelitian pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Skema Kerangka Penelitian

3.3 Penelitian Pendahuluan

1. Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Instalasi Pengolahan Air Minum "X".

2. Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan melalui sampling pada outlet unit pengolahan di Instalasi Pengolahan Air Minum "X".

a. Pengambilan Sampel

Titik sampling adalah outlet pada masing-masing unit yang terdapat pada IPAM "X". Sampel *outlet* diambil dengan menggunakan botol plastik 1,5 L. Jumlah unit yang menjadi sampel penelitian adalah 9 yaitu unit *Intake*, sumur penyeimbang, *aerator*, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, *clarifier*, filtrasi, *desinfeksi* dan *reservoir* dengan karakteristik kekeruhan, TDS, ph, dan *sisa klor*..

Pengambilan sampel dilakukan dalam kondisi yang sama dengan jumlah umlah sampel yang akan dianalisis sebanyak 45 sampel dengan rincian sebagai berikut.

Sampel *outlet* = karakteristik outlet x jumlah unit = $4 \times 9 = 36$ sampel

Total sampel = 36

b. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan sebagai penelitian pendahuluan karakteristik awal air pada masing-masing unit yang terdapat pada IPAM "X". Analisis laboratorium yang dilakukan yaitu pengukuran kualitas air dengan parameter fisik kekeruhan dan *Total Dissolved Solid* , pengukuran kualitas kimia dengan parameter ph, dan Cl. Berikut persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk analisis laboratorium:

1. Persiapan Alat

- Peralatan untuk pengambilan sampel yaitu botol 1,5 L.
- Peralatan untuk analisis laboratorium.

2. Persiapan Bahan

Berikut penjelasan dari masing-masing parameter yang dianalisis :

➤ **Parameter kekeruhan**

Analisis kekeruhan dilakukan menggunakan alat turbidimeter. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 2130 A* (APHA, 2012)

➤ **Parameter TDS**

Analisis TDS dengan menggunakan alat TDSmeter.

➤ **Parameter pH**

Analisis parameter pH menggunakan ph meter, dimana penggunaannya adalah dengan mencelupkan ph meter kedalam sampel sehingga didapatkan nilai ph untuk masing-masing sampel yang akan diuji. Analisis dilakukan berdasarkan *Standard Methods 22nd Edition Section 4500-H⁺* (APHA, 2012).

➤ **Parameter Cl (sisa klor)**

Analisis parameter Cl dilakukan untuk menentukan besarnya klor aktif yang diperlukan untuk proses desinfeksi. Metode yang digunakan untuk parameter ini adalah iodometri.

3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu, tahap pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang diperoleh dianalisis menggunakan metode LCA dengan menginputkan data material dan penggunaan energi. Pada setiap proses produksi diketahui emisi gas yang dihasilkan yang kemungkinan mempengaruhi kualitas lingkungan. Kemudian menentukan kebijakan alternatif proses produksi dengan menginput hasil wawancara.

1. **Studi literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mendukung jalannya penelitian mulai dari awal hingga akhir dan juga sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian tersebut. Sumber literatur yang digunakan berupa jurnal internasional, jurnal nasional, dan text book yang berhubungan dengan penelitian. Studi literatur yang dipelajari adalah sumber yang berhubungan dengan topik yang akan dibahas yaitu

Klasifikasi Mutu Air Bersih , Sumber dan Syarat Air Baku , Proses Pengolahan Air Minum, Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air Minum “X”, Metode *Life Cycle Assessment* (LCA), dan SimaPro 8.5.

Hal ini dilakukan dengan cara:

- Konsultasi dengan dosen terkait mengenai proses pengolahan unit produksi air minum.
- Mempelajari textbook dan Jurnal Internasional yang terkait dengan penelitian mengenai metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
- Mempelajari hasil penelitian terbaru yang terkait dengan penelitian ini.

2. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan sebagai acuan yang akan digunakan dalam penentuan parameter penelitian. Data yang dikumpulkan yaitu data sekunder dan data primer .

- Data sekunder merupakan data bahan baku yang digunakan, energi dan emisi yang dihasilkan dari kinerja proses setiap unit pengolahan yang didapatkan dari sumber-sumber terkait yang hasilnya dapat dipertanggung jawabkan.
- Data primer yang dibutuhkan adalah kuisioner dan wawancara kepada para praktisi Perencana dan Teknik dan Operasi yang akan digunakan untuk menentukan alternatif terbaik.

3. Analisis data dan pembahasan

Data sekunder yang telah diperoleh diinput kedalam software SimaPro 8.5 untuk menganalisis *Life Cycle Assessment* (LCA). Penginput data berupa data bahan baku, energi dan emisi yang dihasilkan dari setiap proses produksi air minum. Data yang telah diinput menghasilkan jumlah gas rumah kaca tiap ton produk.

3.4 Penginputan Data dalam SimaPro 8.5

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan software SimaPro 8.5, maka terlebih dahulu dilakukan proses input data bahan baku, bahan kimia dan listrik yang digunakan pada proses pengolahan air di IPAM “X”. Penentuan tujuan dan cakupan didasarkan kepada tujuan dalam penelitian ini

yaitu, identifikasi permasalahan pada serangkaian proses pengolahan air di IPAM “X” dan merumuskan dampak lingkungan akibat permasalahan tersebut. Tujuan ini menjadi landasan dalam penggunaan *software* SimaPro. Penginput data, seperti bahan baku yang digunakan dan energi yang dibutuhkan pada setiap unit proses pengolahan air. Kemudian memasukan limbah dan emisi yang dikeluarkan dari proses tersebut

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan analisis menggunakan SimaPro 8.5. Terlebih dahulu dilakukan input data bahan baku, bahan kimia dan listrik yang digunakan pada setiap kegiatan proses produksi air minum.

- **Penentuan *Goal Scope***

Penentuan tujuan penelitian didasari dari tujuan penelitian, yaitu adalah Identifikasi emisi pada proses produksi air minum di IPAM “X”. Batasan penelitian dengan menggunakan *Ecoinvent System Process*. Batasan ini dipilih karena berdasarkan input dan output yang terjadi pada kegiatan proses produksi air minum. Input penelitian ini merupakan bahan baku dan penggunaan energi. Sedangkan output penelitian merupakan lepasnya emisi dan dampak terhadap lingkungan.

- ***Life Cycle Inventory***

Life Cycle Inventory melakukan penginput data berupa bahan baku dan energi yang digunakan pada setiap proses produksi produk yang dibutuhkan. Kemudian memasukan emisi gas yang dihasilkan. Data yang diinput dikonversi dalam satuan per liter produk dalam kurun waktu tertentu. Pada langkah ini membutuhkan waktu yang cukup lama dikarenakan kualitas, akurasi dan representatif data sangat berpengaruh terhadap hasil akhir (Boggia *et al*, 2009). Hasil pada tahap ini akan disajikan dalam sebuah *flow sheet* atau *process tree*.

- ***Impact Assessment***

Dampak lingkungan yang dihasilkan dilakukan penilaian menggunakan metode *Impact 2002+.* Impact category yang tersedia pada metode ini adalah *global warming 100a, ozone depletion, ozone formation, acidification, terrestrial eutrophication, aquatic eutrophication EP, human toxicity,*

ecotoxicity, hazardous waste, slag/ashes, bulk waste, radioactive waste, dan resources. Hasil penginput data *Life Cycle Inventory* diperoleh grafik dari setiap proses dimana menunjukkan nilai *impact assessment* yang menjadi prioritas. Prioritas *impact assessment* pada penelitian ini dipilih berdasarkan besarnya dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan.

Pada tahapan penentuan dampak terdapat beberapa langkah seperti *characterization, normalization, dan weighting*.

- **Characterization**

Characterization adalah mengalikan senyawa-senyawa kimia yang berkontribusi pada *impact category* dengan *characterization factor* untuk menggambarkan kontribusi relatif substansi tersebut. Dimana besar emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan tersebut mempengaruhi keseluruhan *impact category*.

- **Normalization**

Normalization merupakan penyetaraan satuan sesuai dengan masing-masing *impact category* yang dipilih. *Impact category* terpilih pada penelitian ini ditentukan berdasarkan dampak terbesar yang timbul akibat proses produksi air minum di IPAM "X".

- **Weighting**

Weighting melakukan pembobotan pada *impact categories*, dimana hasil dari *impact category* akan dikalikan dengan *weighting factor* dan kemudian diakumulasi sehingga mendapat *total score*.

- **Single Score**

Single score merupakan klasifikasi semua nilai dari *impact category* berdasarkan proses ataupun material pembentuknya. Hasil dari *single score* akan didapatkan faktor yang berkontribusi pada dampak lingkungan, baik dari material ataupun proses produk.

- Interpretasi Data dalam simpro 8.5

Tahap akhir dalam LCA dihasilkan alternatif untuk dilakukan perbaikan dalam tiap proses produksi. Alternatif yang dihasilkan tidak hanya 1, namun ada beberapa alternatif sebagai pertimbangan dalam mengambil keputusan.

3.5 Penentuan Keputusan dengan Pendekatan AHP Menggunakan Expert Choice

Analisis dilakukan dari hasil pengolahan data pada aplikasi SimaPro 8.5, dimana menghasilkan beberapa alternatif. Beberapa alternatif tersebut dianalisis menggunakan *Tree Diagram* dan *Impact Assessment*. Analisis *Tree Diagram* adalah diagram dalam bentuk kotak-kotak yang mengindikasikan proses didalamnya. Pada diagram ini memperoleh hasil proses mana yang memiliki dampak lingkungan terbesar. Kemudian, melakukan analisis *impact assessment* yang langkahnya sama dengan *impact assessment* pada LCA. Hasil analisis menghasilkan alternatif-alternatif perbaikan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang terjadi. Perbaikan dilakukan untuk meningkatkan nilai lingkungan suatu produk dari setiap proses produksi produk. Kemudian ditentukan alternatif terbaik dengan metode AHP menggunakan *software expert choice*.

- **Pemilihan Kriteria Dalam Prosedur AHP**
Pemilihan kriteria dalam prosedur AHP ditentukan berdasarkan alternatif yang dihasilkan pada LCA.
- **Pemilihan Alternatif**
Pemilihan alternatif berdasarkan hasil analisis LCA pada software SimaPro 8.5. alternatif tersebut nantinya dibobotkan dan dipilih berdasarkan AHP.
- ***Purposive sampling***
Purposive sampling adalah cara penarikan sample yang dilakukan memilih subjek berdasarkan kriteria spesifik yang ditetapkan peneliti berdasarkan ciri atau sifat-sifat populasi yang sudah diketahui sebelumnya. Respon pada penelitian ini sebanyak 5 orang berasal dari manager produksi, supervisor pengolahan sebanyak 2 orang, dan supervisor ME sebanyak 2 orang.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada hasil analisis dan pembahasan dapat di ambil kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan kemudian dihubungkan dengan literatur yang diperoleh yang dijadikan

referensi pada penelitian ini. Saran diberikan untuk menyempurnakan hasil penelitian yang bersifat berkelanjutan kesimpulan yang diharapkan berupa informasi mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari kinerja unit-unit pengolahan air minum di IPAM "X".

BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas air di IPAM “X”

Air minum yang diproduksi oleh IPAM X harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Baku mutu air minum yang telah ditetapkan oleh pemerintah merupakan Peraturan Menteri Kesehatan Nomer 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.. Beberapa parameter yang dianalisis yaitu kekeruhan, *Total Dissolved Solid* (TDS), Derajat keasaman (pH), dan sisa klor. Pengujian keempat parameter dilakukan dimasing-masing unit yang terdapat pada IPAM “X”

a. Analisis Kekeruhan

Kekeruhan air dapat ditimbulkan karena terdapatnya bahan-bahan organik dan anorganik seperti lumpur dan buangan yang menyebabkan air sungai menjadi keruh (Pitojo dan Purwantoyo, 2002). Kekeruhan pada air dihilangkan dengan proses pengendapan secara gravitasi pada prasedimentasi, kemudian dibubuhkan alum ada proses koagulasi dan diendapkan pada clarifier. Hasil uji parameter kekeruhan pada semua unit dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil uji kekeruhan di masing-masing unit

No	Unit	Kekeruhan	
1	Air baku (intake)	5,98	NTU
2	Sumur penyeimbang	5,98	NTU
3	Aerasi	5,98	NTU
4	Prasedimentasi	4,01	NTU
5	Koagulasi	3,7	NTU
6	Flokulasi	3,39	NTU
7	Clarifier	3,03	NTU
8	Filter	1,12	NTU
9	Desinfeksi	1,05	NTU
10	Reservoir	1,05	NTU

Sumber : hasil penelitian

Dari Tabel 4.1 di atas dapat dilihat kualitas air minum parameter kekeruhan di IPAM X. Pada effluen dari keseluruhan proses di IPAM X dijelaskan bahwa parameter kekeruhan telah memenuhi baku mutu dan layak untuk didistribusikan ke pelanggan.

Pada unit intake nilai kekeruhan masih sekitar 5,98 NTU. Setelah itu kekeruhan di unit selanjutnya yaitu unit aerasi kekeruhan tidak mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan aerasi tidak berfungsi sebagai unit untuk penurunan kekeruhan melainkan sebagai unit peningkatan oksigen terlarut dalam air. Setelah melalui unit aerasi, selanjutnya dialirkan di ke unit prasedimentasi. Pada unit prasedimentasi kekeruhan air sekitar 4,01 NTU. Pada unit prasedimentasi terjadi penurunan kekeruhan hampir 60%. Hal ini disebabkan karena prasedimentasi merupakan unit untuk mengendapkan partikel diskrit yang terlarut dalam air baku seperti kerikil, pasir dan partikel yang cukup kasar tanpa penambahan bahan kimia (Damayanti, 2012). Partikel tersebut diendapkan secara gravitasi pada unit prasedimentasi. Penyisihan kekeruhan pada unit prasedimentasi cenderung fluktuatif sebesar 13 – 60 %. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa menurunkan kekeruhan yang rendah lebih sulit dibandingkan menurunkan kekeruhan yang tinggi. Penyisihan yang fluktuatif menunjukkan bahwa prasedimentasi belum berjalan optimal. Kekeruhan yang rendah menunjukkan bahwa jarak antar partikel koloid menjadi cukup jauh (Widyaningsih dan Syafei, 2011). Jarak antar partikel yang jauh menyebabkan partikel sulit mengendap.

Setelah unit prasedimentasi, selanjutnya air mengalir menuju unit koagulasi. Pada proses koagulasi dibubuhkan bahan kimia (koagulan) yang dapat mendestabilisasi koloid dan partikel yang terdapat dalam air (Karamah dan Lubis, 2016). Pada unit koagulasi kekeruhan air 3,7 NTU. Unit selanjutnya adalah clarifier. Pada clarifier terdapat proses sedimentasi dan proses flokulasi. Flokulasi adalah proses pembentukan flok setelah air baku ditambahkan koagulan pada proses koagulasi (Damayanti, 2012). Koloid yang sudah kehilangan muatannya atau terdestabilisasi akan saling tarik menarik sehingga membentuk gumpalan yang lebih besar dan mudah mengendap (Narita dkk., 2011). Pada clarifier kekeruhan air sudah sekitar 3,03 NTU. Penyisihan

kekeruhan berjalan cukup stabil menandakan penambahan koagulan pada unit sebelumnya sudah sesuai pada dosis optimum. Penyisihan yang berjalan cukup baik juga menandakan bahwa clarifier berjalan cukup optimal.

Unit selanjutnya setelah clarifier adalah unit filter. Penyisihan kekeruhan pada filter berjalan cukup baik. Hal ini terlihat dari penyisihan kekeruhan yang terjadi pada filter sebesar 70-90%. Kekeruhan pada unit filter sekitar 1,12 NTU. Kekeruhan pada filter lebih rendah dibandingkan dengan kekeruhan di clarifier. Filter merupakan bangunan untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi dan koloidal dengan cara menyaringnya dengan media filter (Narita dkk.,2011). Setelah unit filter, kemudian air di beri desinfektan berupa klor pada proses desinfeksi. Pada unit desinfeksi kekeruhan air sekitar 1,05 NTU. Kekeruhan air produksi pada saat penelitian berada pada kisaran 1,05 NTU. Kekeruhan air produksi cukup rendah. Parameter kekeruhan pada air produksi sudah memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu sebesar 5 NTU.

b. Analisis TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS adalah benda padat yang terlarut, bisa berupa mineral, garam, logam serta kation-anion yang terlarut di air termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (Santoso, 2008). Air yang mengandung TDS tinggi dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Mineral dalam air tidak hilang dengan cara direbus. Hasil uji parameter TDS pada semua unit dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Uji Parameter TDS Disemua Unit.

No	Unit	TDS	
1	Air baku (intake)	253	mg/L
2	Sumur penyeimbang	253	mg/L
3	Aerasi	253	mg/L
4	Prasedimentasi	267	mg/L
5	Koagulasi	266	mg/L
6	Flokulasi	266	mg/L
7	Clarifier	266	mg/L

Sumber : Hasil Penelitian.

Tabel 4. 3 Hasil uji parameter TDS disemua unit

No	Unit	TDS	
8	Filter	265	mg/L
9	Desinfeksi	266	mg/L
10	Reservoir	266	mg/L

Sumber : Hasil Penelitian.

Nilai TDS air produksi di IPAM X sekitar 266 mg/L. Parameter TDS (*Total Dissolved Solid*) pada air produksi sudah memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu sebesar 500 mg/L.

c. Analisis pH

Menurut Sutrisno (2006), derajat keasaman (pH) air yang lebih kecil dari 6,5 atau pH asam meningkatkan korosifitas pada benda-benda logam, menimbulkan rasa tidak enak dan dapat menyebabkan beberapa bahan kimia menjadi racun yang mengganggu kesehatan. Hasil uji parameter derajat keasaman (pH) pada semua unit dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil uji parameter pH pada semua unit

No	Unit	pH
1	Air baku (intake)	7,44
2	Sumur penyeimbang	7,44
3	Aerasi	7,44
4	Prasedimentasi	7,37
5	Koagulasi	7,4
6	Flokulasi	7,42
7	Clarifier	7,4
8	Filter	7,33
9	Desinfeksi	7,24
10	Reservoir	7,24

Sumber : Hasil Penelitian

Nilai derajat keasaman (pH) air produksi di IPAM X sekitar 7,24. Parameter derajat keasaman (pH) pada air produksi sudah memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu sekitar 6,5-8,5.

Sedangkan untuk analisis sisa klor dihitung setelah unit desinfeksi. Sisa klor pada air produksi sekitar 0,56 mg/L. pada IPAM X tidak terjadi proses pre-klorinasi. Sehingga pembubuhan senyawa klor hanya pada unit desinfeksi. Pemberian desinfektan bertujuan untuk membunuh mikroorganisme yang terpapar secara langsung oleh desinfektan.

4.2 Analisis Menggunakan SimaPro 8.5

Life Cycle Assessment (LCA) adalah proses objektif untuk menilai dampak lingkungan dari produk, proses, atau aktivitas. Penilaian tersebut dilakukan dengan mengidentifikasi sumber energi, penggunaan raw material, dan pembuangan pada lingkungan. Selain itu, metode tersebut dapat mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan (Graedel dan Allenby, 1995).

Untuk melakukan analisis LCA dapat digunakan software SimaPro 8.5, yang mana tahapan mengolah data dalam software tersebut telah disesuaikan dengan tahapan analisis LCA. Untuk mengolah data menggunakan software SimaPro 8.5 maka diperlukan beberapa tahapan yaitu penentuan *Goal* dan *Scope*, *Life Cycle Inventory* dan penentuan dampak lingkungan dari interpretasi data.

4.2.1 Penentuan *Goal* dan *Scope*

Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui dan menyelidiki proses utama yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan, terutama pada pembubuhan bahan kimia dan penggunaan energi listrik.

Ruang lingkup yang digunakan pada penelitian ini pada *Cradle to gate*, yang dimulai dari ekstraksi material yang akan digunakan untuk pengolahan air hingga proses pendistribusian dari produk yang dihasilkan (sebelum produk tersebut digunakan) (hermawan, 2013). *Cradle to gate* dipilih karena berdasarkan fakta

yang ada, dampak lingkungan yang terdapat di sekitar perusahaan merupakan dampak yang dihasilkan dari aktivitas internal perusahaan terutama pada bagian produksi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis dampak yang terjadi adalah Metode *Impact 2002+*. Hal tersebut dikarenakan metode ini dinilai lebih komprehensif dalam melakukan evaluasi terhadap pengolahan air.

4.2.2 Penentuan *Life Cycle Inventory*

Untuk melakukan penilaian ekstraksi bahan baku maka dibutuhkan input data berupa kesetimbangan material dan energi yang digunakan pada setiap proses. Data yang digunakan secara detail didapat dari pihak Instalansi seperti data bahan kimia dan konsumsi energi yang diperlukan. Data yang di dapat dari IPAM "X" merupakan data bulan September 2018. Dat yang didapatkan berupa data perbulan yang akan dikonversi menjadi data per hari dengan anggapan penggunaan konstan dalam satu bulannya.

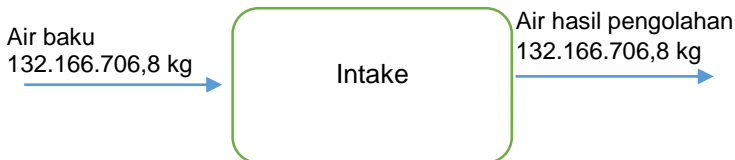
4.2 3 Analisis *Life Cycle Inventory*

4.2.3.1 *Life Cycle Inventory* pada Intake

Intake merupakan bangunan awal yang terdapat pada instalasi pengolahan air minum "X". Air yang terdapat pada bangunan intake IPAM X akan mengalir secara gravitasi menuju sumur pengumpul. Selain itu, terdapat penggunaan pompa air baku untuk menyalurkan air dari tepi kali "X" menuju ke instalasi pengolahan. Jumlah pompa utama yang digunakan sebanyak 4 pompa dengan kapasitas masing-masing 1100 L/dt. Sedangkan jumlah pompa tambahan yang digunakan sebanyak 4 pompa namun yang digunakan hanya 3 pompa dan 1 pompa sebagai cadangan.

Pada pompa air baku menerima air hasil effluen dari unit sebelumnya yaitu unit intake. Massa input air pada pompa air baku sama dengan massa ouput dari intake karena tidak terdapat kehilangan air yang signifikan dari proses tersebut. Total energy yang dihasilkan dari penggunaan pompa air baku sebanyak 710 kwh.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit intake dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Kesetimbangan massa unit intake

Pada unit intake data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari.

Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit Intake:

- volume air yang masuk ke unit intake = 3.976.932 m3
dalam 1 bulan = 132.564,4 m3 dalam 1 hari
- Densitas air pada suhu 25 'C = 997 Kg/m3
- Massa air yang masuk ke unit intake
- = volume air x densitas air
= 132.564,4 m3 x 997 Kg/m3
= 132.166.706,8 kg

Life Cycle Inventory pada unit intake dapat dilihat pada Tabel 4.5. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 5 *Life Cycle Inventory* intake dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Air Baku	132.166.707	Kg
Energi	710	Kwh

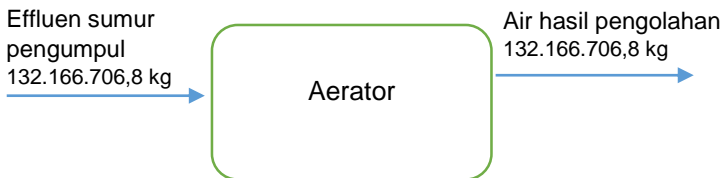
Sumber : IPAM “X” (2018)

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit intake maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.1.

4.2.3.2 *Life Cycle Inventory* pada Aerator

Air yang berada di sumur pengumpul akan dialirkan ke bak aerasi atau aerator . Tujuan dialirkan ke bak aerasi adalah untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) pada air baku.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit aerator dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 2 Kesetimbangan Massa Unit Aerator

Pada unit aerator data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit intake :

- Massa input air pada unit aerator sama dengan massa output dari unit sumur pengumpul = 132.166.706,8 kg
- Massa output pada unit aerato = 132.166.706,8 kg

Massa input air pada unit aerator sama dengan massa output dari unit suur pengumpul karena tidak terdapat kehilangan air yang signifikan dari proses tersebut. *Life Cycle Inventory* pada unit aerator dapat dilihat pada Tabel 4.6 Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 6 *Life Cycle Inventory* unit aerator dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa Akhir Sumur Pengumpul	132.166.707	Kg

Sumber : IPAM “X” (2018)

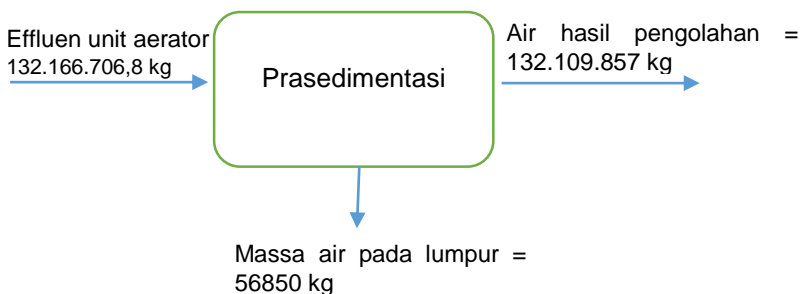
Pada unit aerator tidak menggunakan energi listrik karena pada aerator air yang di dapat disesuaikan dengan tekanan dari pompa air baku.

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit aerator maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.2.

4.2.3.3 *Life Cycle Inventory* pada Prasedimentasi

Air yang keluar dari unit aerator menuju ke bak prasedimentasi. Pada bak prasedimentasi terjadi pengendapan partikel diskrit atau partikel kasar. Pada IPAM “X” waktu detensi bak prasedimentasi selama 3 jam dalam aliran laminar, untuk memberikan kesempatan partikel mengendap tanpa terganggu oleh aliran.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit prasedimentasi dapat dilihat pada Gambar 4.4



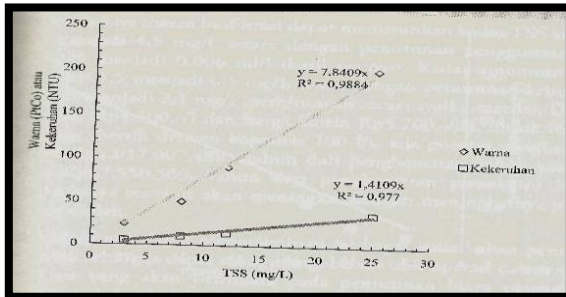
Gambar 4. 3 Kesetimbangan Massa Unit Prasedimentasi

Pada unit prasedimentasi data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit intake :

- Massa input air pada unit prasedimentasi sama dengan massa output dari unit aerator = 132.166.706,8 kg

Massa air pada lumpur yang diendapkan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Kadar kekeruhan = 18,53 NTU
- Specific gravity partikel = 2,65 g/cm³
- Untuk TSS dihitung menggunakan grafik berikut :



Gambar 4. 4 Hubungan Antara Nilai Kekeruhan dan TSS

Untuk mendapatkan nilai TSS ini menggunakan persamaan “ $y=1,4109x$ ”. Dimana y adalah variable kekeruhan , sedangkan x adalah variable TSS. Dan perhitungan tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 y &= 1,4109x \\
 18,53 \text{ NTU} &= 1,4109x \\
 x &= \frac{400}{1,4109} \\
 &= 13,13 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

- Konsentrasi Diskrit dan grit = 90 % x Konsentrasi SS
 $= 90 \% \times 281,51 \text{ mg/L}$
 $= 253,359 \text{ mg/L}$
- Sludge teremoval/terendapkan = 80 % x Konsentrasi Diskrit dan grit
 $= 80 \% \times 13,13 \text{ mg/L}$

- Sludge lolos = 11,87 mg/L
= 13,13mg/L–11,87 mg/L
= 2,367 mg/L
 - Berat lumpur terendapkan = 11,87 mg/L x Q
= 11,87 mg/L x 0,1421
m³/s x 86400/1000
= 1160 kg/hari
 - Berat air lumpur terendapkan = (98 % / 2 %) x berat
= (98 % / 2 %) x 1160
kg/hari
= 56850 kg/hari
- Massa effluen hasil pengolahan prasedimentasi =
132.166.706,8 kg - 56850 kg = 132.109.857 kg

Massa input air pada unit prasedimentasi tidak sama dengan massa output dari unit aerator karena adanya partikel diskret yang mengendap pada unit prasedimentasi . Life Cycle Inventory pada unit prasedimentasi dapat dilihat pada Tabel 4.7 Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 7 *Life Cycle Inventory* unit prasedimentasi dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit aerator	132.166.707	Kg

Sumber : IPAM “X” (2018)

Pada unit aerator tidak menggunakan energi listrik karena pada unit prasedimentasi aliran air bergerak secara gravitasi menuju unit selanjutnya.

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit prasedimentasi maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.3.

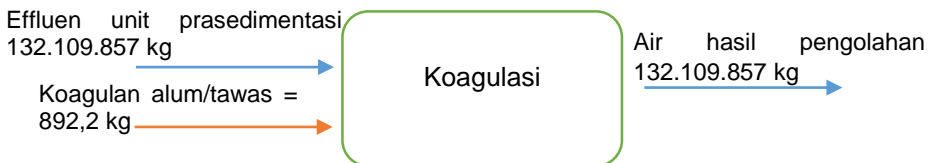
4.2.3.4 Life Cycle Inventory pada Koagulasi-Flokulasi

Air yang terdapat pada bak prasedimentasi kemudian dialirkan ke bak koagulasi secara gravitasi untuk ditambahkan koagulan. Pada pengolahan air di IPAM “X” koagulan yang digunakan adalah aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dengan penambahan polielektrolit sebagai koagulan pembantu. Reaksi alum dalam larutan dapat dituliskan.:



Pada reaksi diatas flok-flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ mengendap berwarna putih pada unit sedimentasi. Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada saat dibutuhkan koagulan berupa alum/tawas pada bak pengaduk cepat kemudian pada bak pengaduk lambat terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga lebih mudah mengendap pada unit sedimentasi (clarifier). Koagulan pembantu berupa polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang besar agar cepat mengendap.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit koagulasi dan flokulasi dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6



Gambar 4. 5 kesetimbangan massa unit koagulasi



Gambar 4. 6 kesetimbangan massa unit flokulasi

Pada unit koagulasi - flokulasi data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit koagulasi – flokulasi :

- Massa input air pada unit koagulasi merupakan output dari unit prasedimentasi = 132.109.857 kg
- Massa input air pada unit flokulasi merupakan output dari unit koagulasi = 132.109.857 kg
- Massa penambahan tawas = 892,2 kg
- Massa penambahan elektrolit = 4,8 kg

Massa input air pada unit koagulasi merupakan massa output dari unit prasedimentasi. Kadar solid yang terendapkan pada bak prasedimentasi sebanyak 2%, sehingga air hasil pengolahan unit prasedimentasi yang menjadi influen unit koagulasi sebanyak 98%. Massa input unit flokulasi sama dengan input pada unit koagulasi karena tidak terdapat kehilangan air yang signifikan. *Life Cycle Inventory* pada unit koagulasi dan flokulasi dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 8 *Life Cycle Inventory* unit koagulasi dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit prasedimentasi	132.109.857	Kg
Penambahan alum/tawas	891,2	Kg

Sumber : IPAM "X" (2018)

Tabel 4. 9 *Life Cycle Inventory* unit flokulasi dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit koagulasi	132.109.857	Kg
Penambahan polielektrolit	4,8	Kg

Sumber : IPAM "X" (2018)

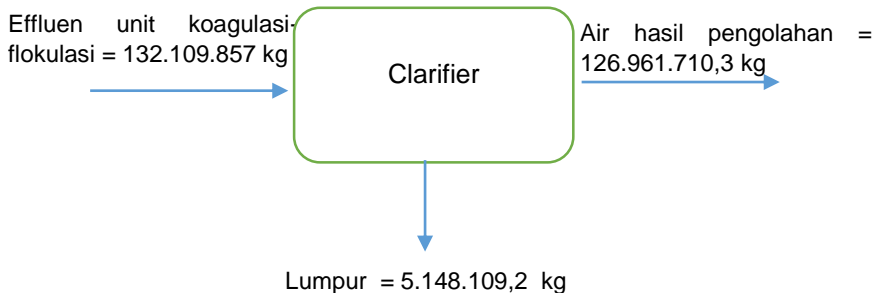
Pada unit koagulasi-flokulasi tidak menggunakan energi listrik karena pada unit koagulasi-flokulasi aliran air bergerak secara gravitasi menuju unit selanjutnya.

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit koagulasi-flokulasi maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.4.

4.2.3.5 *Life Cycle Inventory* pada Clarifier

Pada proses koagulasi-flokulasi sebelumnya akan menghasilkan flok yang berukuran besar dengan penambahan koagulan dan juga polielektrolit yang kemudian akan diendapkan pada bak clarifier. Proses sedimentasi bertujuan untuk menyisahkan padatan tersuspensi dalam air dengan cara mengendapkannya secara gravitasi. Jenis partikel yang diendapkan adalah partikel flokulen hasil dari proses koagulasi-flokulasi.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit clarifier dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Kesetimbangan Massa Unit Clarifier

Pada unit clarifier data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit clarifier :

- Massa input air pada unit clarifier sama merupakan massa output pada unit koagulasi- flokulasi = 132.109.857 kg
- Massa draine dari unit clarifier = 5.148.109,2 kg
- Massa lumpur pada unit clarifier = 3602,25 kg
- Massa output hasil pengolahan clarifier = 126.961.710,3 kg

Pada unit clarifier terdapat partikel flokulen hasil proses koagulasi flokulasi. partikel flokulen tersebut akan mengendap dan membentuk lumpur. Banyaknya lumpur yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Cornwell dan Westeroff, 1981). Data sekunder yang digunakan merupakan informasi yang diperoleh dari bagian produksi air baku IPAM X pada tahun 2018. Data yang digunakan adalah kuantitas, kekeruhan air baku yang digunakan, serta dosis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang digunakan. Kuantitas air baku yang diolah IPAM X adalah 1421 L/dt. Sementara itu rata rata kekeruhan dan dosis koagulan adalah 18,53 NTU dan 7 mg/L.

$$w \text{ (berat lumpur)} = 8,34 \times Q \text{ (mgd)} \times ((0,8 \times \text{dosis Al(ppm)}) + (b \times \text{TU}))$$

$$W = 8,34 \times Q \times ((0,8 \times \text{Al}) + (b \times \text{TU}))$$

$$W = 8,34 \times 32,4 \times ((0,8 \times 7) + (1,3 \times 18,53))$$

$$W = 3602,27 \text{ kg/hari}$$

Dimana:

W = berat lumpur (lb/day)

Q = debit instalasi (mgd)

Al = dosis Alumunium (mg/L)

b = rasio suspended solid terhadap kekeruhan, dengan range 0,7-2,2 (Cornwell dan Westeroff, 1981). Kawamura (2000) menggunakan angka sebesar 1,3.

TU = kekeruhan air baku (NTU)

Life Cycle Inventory pada unit koagulasi dan flokulasi dapat dilihat pada Tabel 4.10. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 10 *Life Cycle Inventory* unit clarifier dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit flokulasi	132.109.857	Kg

Sumber : IPAM “X” (2018)

Pada unit clarifier tidak menggunakan energi listrik karena pada unit clarifier aliran air bergerak secara gravitasi menuju unit selanjutnya. Lumpur akan masuk ke unit sludge lagoon yang akan diolah oleh pihak ketiga.

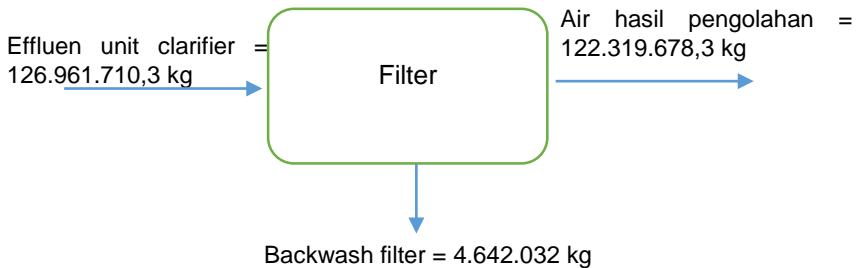
Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit clarifier maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.5.

4.2.3.6 Life Cycle Inventory pada Filter

Setelah dilakukan proses pengendapan pada unit clarifier. Air hasil pengolahan dari unit clarifier akan menuju ke unit selanjutnya yaitu unit filter secara gravitasi. Tujuan dari proses filtrasi ini adalah suatu proses pemisahan zat padat dari zat cair maupun gas yang membawanya melalui media berpori untuk menghilangkan zat padat halus tersuspensi dan koloid.

Jenis filter yang digunakan pada IPAM X adalah filter pasir cepat atau *rapid sand filter* dengan kecepatan filtrasi $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. jenis filter pasir cepat selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Pada proses filtrasi juga perlu dilakukan pencucian. Pencucian dilakukan dengan memberikan aliran balik pada media (*backwash*) dengan tujuan mengangkat kotoran yang menyumbat pori-pori media filter.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit filter dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Kesetimbangan Massa Unit Filter

Pada unit filter data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit filter :

- Massa input air pada unit clarifier merupakan massa output dari unit clarifer

Massa output clarifier	=	Massa awal - massa draine clarifier
------------------------------	---	-------------------------------------

$$= 126.961.710,3 \text{ kg} - 5.148.109,2 \text{ kg}$$

$$= 126.961.710,3 \text{ kg}$$

- Massa *backwash* filter = 4.642.032 kg
- Energi yang digunakan = 77 kwh

Massa input air pada unit filtrasi merupakan massa output dari unit clarifier. Massa output dari unit clarifier merupakan massa input unit clarifier yang telah dikurangi dengan massa draine dan massa lumpur di clarifier. Life Cycle Inventory pada unit filtrasi dapat dilihat pada Tabel 4.11. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 11 *Life Cycle Inventory* unit filtrasi dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit clarifier	126.961.710,3	Kg
Energi	77	Kwh

Sumber : IPAM “X” (2018)

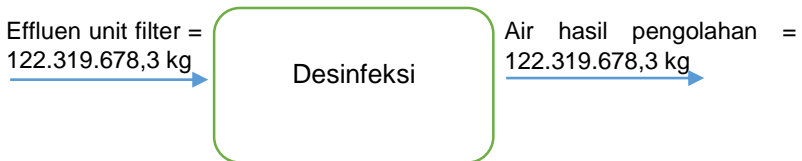
Pada unit filter menggunakan energi listrik karena adanya valve dan untuk *backwash* filter. Setelah itu aliran air bergerak secara gravitasi menuju unit selanjutnya.

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit filter maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.6.

4.2.3.7 Life Cycle Inventory pada Desinfeksi

Setelah dilakukan pengolahan di unit filter, langkah selanjutnya air hasil pengolahan mengalir secara gravitasi menuju unit desinfeksi. jenis desinfektan yang digunakan adalah Chlor. Desinfeksi digunakan untuk membunuh mikroba yang terkandung dalam air untuk melindungi pemakai air dari penularan penyakit yang dapat disebarkan melalui air. Jenis desinfektan yang digunakan berupa klor cair.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit desinfeksi dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Kesetimbangan Massa Unit Desinfeksi

Pada unit desinfeksi data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per hari.

Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit desinfeksi :

- Massa input air pada unit desinfeksi merupakan massa output pada unit filter = 122.319.678,3 kg
- Massa penambahan chlor = 162,33 kg
- Massa output air pada unit desinfeksi adalah = 122.319.678,3 kg

Massa input air pada unit desinfeksi merupakan massa output dari unit filter. Massa output dari unit filter merupakan massa input unit filter yang telah dikurangi dengan massa air yang digunakan untuk *backwash* filter. Life Cycle Inventory pada unit desinfeksi

dapat dilihat pada Tabel 4.12. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

Tabel 4. 12 *Life Cycle Inventory* unit desinfeksi dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit filter	122.319.678,3 kg	Kg
Penambahan chlor cair	162,3	Kg

Sumber : IPAM “X” (2018)

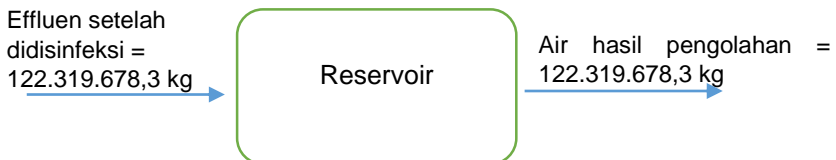
Pada unit desinfeksi tidak menggunakan energi listrik. Aliran dari unit desinfeksi kemudian dialirkan ke unit reservoir secara gravitasi.

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Inventory* pada unit desinfeksi maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada sub bab 4.2.4.7.

4.2.3.8 *Life Cycle Inventory* pada Reservoir

Setelah dilakukan proses desinfeksi kemudian air hasil pengolahandi alirkan menuju bak penampungan yang dikenal dengan unit reservoir sebelum didistribusikan kepada pelanggan. Pada IPAM “X” jenis reservoir yang digunakan adalah ground reservoir.

Data yang digunakan berdasarkan data dari IPAM X bulan September tahun 2018. Material balance/ kesetimbangan material pada unit desinfeksi dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Kesetimbangan Massa Unit Reservoir

Pada unit reservoir data yang input yang diperoleh merupakan data perbulan. Sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data per

hari. Berikut merupakan contoh konversi data material pada unit reservoir:

- Massa input air pada unit reservoir merupakan massa output setelah dilakukan proses desinfeksi = 122.319.678,3 kg

Massa input air pada unit reservoir merupakan massa output setelah dilakukan proses desinfeksi dikarenakan pada unit sebelumnya tidak terjadi kehilangan air yang signifikan.

Life Cycle Inventory pada unit desinfeksi dapat dilihat pada Tabel 4.13. Input data berupa data dalam satuan “kg” pada satu hari.

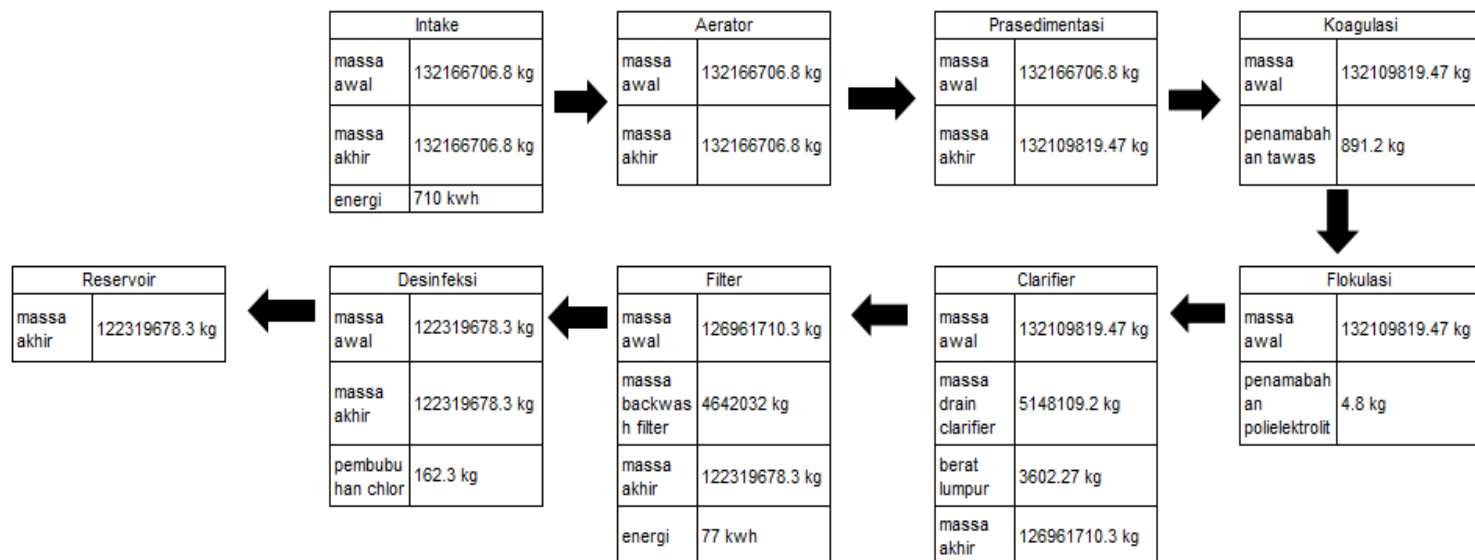
Tabel 4. 13 *Life Cycle Inventory* unit reservoir dalam satu hari

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Massa akhir unit desinfeksi	122.319.678,3	Kg

Sumber : IPAM “X” (2018)

Pada unit reservoir tidak menggunakan energi listrik sebelum didistribusikan kepada pelanggan karena fungsi reservoir sebagai bak penampung sebelum didistribusikan ke pelanggan. Namun pada saat pendistribusian kepada pelanggan terdapat energi listrik yang diperlukan. Energi listrik berasal dari pompa distribusi 1000l/s yang membutuhkan 800 kwh, pompa distribusi 250l/s membutuhkan 185 kwh dan pompa distribusi 100l/s membutuhkan 65 kw.

Setelah dilakukan tahap Life Cycle Inventory pada unit reservoir maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap Life Cycle Impact Assessment pada sub bab 4.2.4.7. Secara keseluruhan kesetimbangan massa pada proses pengolahan air di IPAM “X” pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Keseimbangan Massa Pada Proses Pengolahan Air Di IPAM "X"

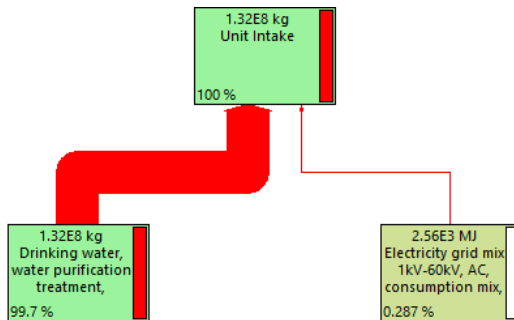
4.2.4 Analisis *Life Cycle Impact Assessment*

Tahap selanjutnya setelah melakukan tahapan *Life Cycle Inventory* adalah melakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment*. Pada tahap penilaian dampak (*Life Cycle Impact Assessment*) dilakukan penentuan dampak setelah dilakukan penginput nilai pada proses *Life Cycle Inventory* (LCI). Metode penilaian dampak yang digunakan adalah Metode Impact2002+. Metode Impact2002+ dipilih sebagai metode penilaian dampak dikarenakan metode ini merupakan metode yang paling baru dan merupakan kombinasi dari 4 metode sebelumnya yaitu IMPACT 2000 (Pennington et al, 2005), Eco-Indicator 99 (Goedkoop and Spriensma. 2000, 2nd version, Egalitarian Factors), CML (Guinee et al 2002) dan IPCC.

Penilaian dampak yang dilakukan pada software SimaPro yaitu dengan membandingkan secara langsung hasil dari *Life Cycle Inventory* pada tiap-tiap kategori. Pada metode Impact 2002+ akan dihasilkan 14 kategori dampak, namun pada penelitian ini akan difokuskan pada 3 kategori dampak yaitu *Ozone Layer Depletion*, *Global Warming* dan *Respiratory Inorganics*. Rincian *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) pada setiap proses produksi.

4.2.4.1 *Life Cycle Impact Assessment* pada Unit Intake

Hasil pengolahan data menggunakan software SimaPro dibagi menjadi 2 macam penilaian yaitu network dan characterization. Penilaian terhadap network menjelaskan proses yang paling berkontribusi terhadap dampak pencemaran yang ada sedangkan characterization untuk mengidentifikasi dampak dari proses pengolahan di IPAM "X". Setelah air ditampung di sumur penyeimbang. Air akan dipompa ke unit aerator. Pada pompa air baku utama ini lebih disoroti pada penggunaan energi listrik pada setiap kapasitas pompa Gambar 4.12 menunjukkan hasil network dari *Life Cycle Inventory* pada proses pengolahan unit intake di IPAM "X".



Gambar 4. 12 Network unit Intake

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit intake setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 14

Tabel 4. 14 *Impact Assessment* Intake

Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	Kg PM _{2.5} Eq	30,1
Ozone Layer Depletion	Kg CFC-11 Eq	0,0018
Global Warming	Kg CO ₂ Eq	80764,4

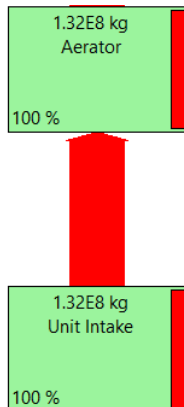
Sumber : Hasil Perhitungan SimaPro 8.5

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit intake maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisis LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.2 *Life Cycle Impact Assessment* pada Aerator

Setelah air dipompa dari air sumur penyeimbang kemudian air dialirkan menuju unit aerator. Pada unit aerator tidak menggunakan penambahan bahan kimia dan penggunaan energy

listrik. Network hasil *life cycle inventory* pada unit aerator dapat dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4. 13.Network Unit Aerator

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit aerator setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 15

Tabel 4. 15 *Impact Assessment* aerator

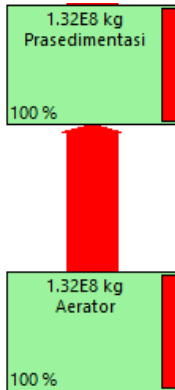
Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	30,1
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0018
Global Warming	kg CO2 eq	80764,4

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit aerator maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisi LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.3 Life Cycle Impact Assessment pada Prasedimentasi

Air hasil pengolahan dari unit aerator kemudian dialirkan ke unit prasedimentasi . Pada unit prasedimentasi tidak menggunakan penambahan bahan kimia dan penggunaan energy listrik. Network hasil *Life Cycle Inventory* pada unit prasedimentasi dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14 Network Unit Prasedimentasi

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit prasedimentasi setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 16

Tabel 4. 16 *Impact Assessment* prasedimentasi

Impact Category	unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	30,1
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0018
Global Warming	kg CO2 eq	80799,2

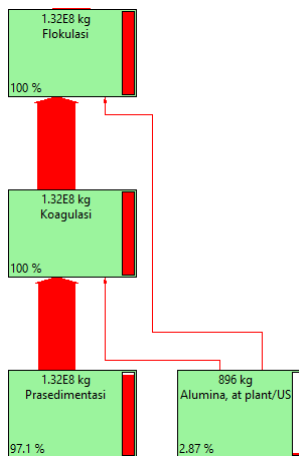
Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit prasedimentasi maka langkah selanjutnya akan

dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisi LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.4 *Life Cycle Impact Assessment* pada Koagulasi & Flokulasi

Setelah melalui proses di unit prasedimentasi selanjutnya memasuki unit koagulasi & flokulasi. Pada unit koagulasi & flokulasi lebih difokuskan pada penggunaan bahan-bahan kimia sebagai koagulan. Koagulan yang digunakan berupa aluminium sulfat. Network hasil *Life Cycle Inventory* pada proses koagulasi & flokulasi dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 *Network* Unit Koagulasi & Flokulasi

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit koagulasi-flokulasi setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 17

Tabel 4. 17 *Impact Assessment* koagulasi & flokulasi

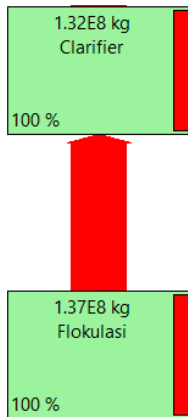
Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	31,5
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0018
Global Warming	kg CO2 eq	82002,4

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit koagulasi-flokulasi maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisi LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.5 *Life Cycle Impact Assessment* pada Clarifier

Air hasil pengolahan dari poses koagulasi & flokulasi kemudian dialirkan ke unit clarifier . Pada unit prasedimentasi tidak menggunakan penambahan bahan kimia dan penggunaan energi listrik. Network hasil *Life Cycle Inventory* pada unit clarifier dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4. 16 *Network* Unit Clarifier

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact*

Assessment pada unit clarifier setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 18

Tabel 4. 18 *Impact Assessment* clarifier

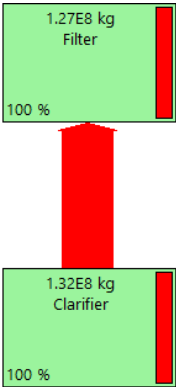
Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	32,7
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0019
Global Warming	kg CO2 eq	85327,5

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit clarifier maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisi LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.7 *Life Cycle Impact Assessment* pada filter

Air hasil pengolahan dari proses di unit clarifier kemudian dialirkan ke unit filter. Pada unit filter tidak menggunakan penambahan bahan kimia. Terdapat penggunaan energy listrik untuk valve dan backwash sebanyak 77 kwh. Namun tidak terbaca di network karena penggunaan listrik yang sangat sedikit. Network hasil *Life Cycle Inventory* pada unit filter dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 *Network* Unit Filter

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit filter setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 19

Tabel 4. 19 *Impact Assessment* filter

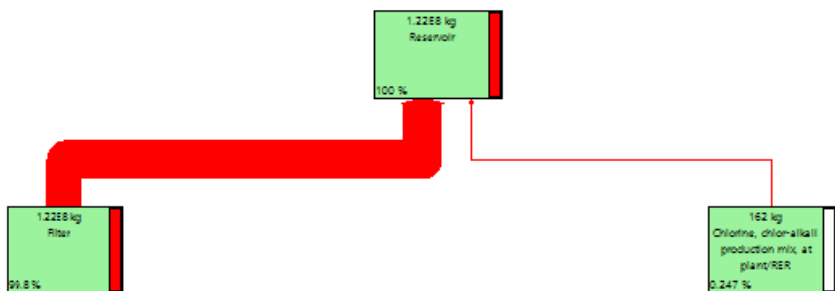
Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	32,7
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0019
Global Warming	kg CO2 eq	85114,4

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit filter maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisis LCIA tahap *Characterization*.

4.2.4.8 *Life Cycle Impact Assessment* pada reservoir

Setelah di olah di unit filter. Air hasil pengolahan kemudian di desinfeksi menggunakan chlor sebagai desinfektan. Setah melalu proses desinfeksi kemudia air hasil pengolahan di alirkan ke reservoir sebagai bak penampung sebelum di distribusikan kepada pelanggan. Network hasil *Life Cycle Inventory* pada unit dapat dilihat pada Gambar 4.18



Gambar 4. 18 *Network* Unit Reservoir

Setelah dilakukan input data pada tahap *Life Cycle Inventory* maka didapat total nilai *Impact Assessment* pada 3 kategori dampak yang akan dianalisis. Nilai dari *Impact Assessment* pada unit reservoir setelah dilakukan *Life Cycle Inventory* dapat dilihat pada Tabel 4. 20

Tabel 4. 20 *Impact Assessment* Reservoir

Impact Category	Unit	Total
Respiratory Inorganics	kg PM 2.5 eq	31,5
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	0,0019
Global Warming	kg CO2 eq	82143,2

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

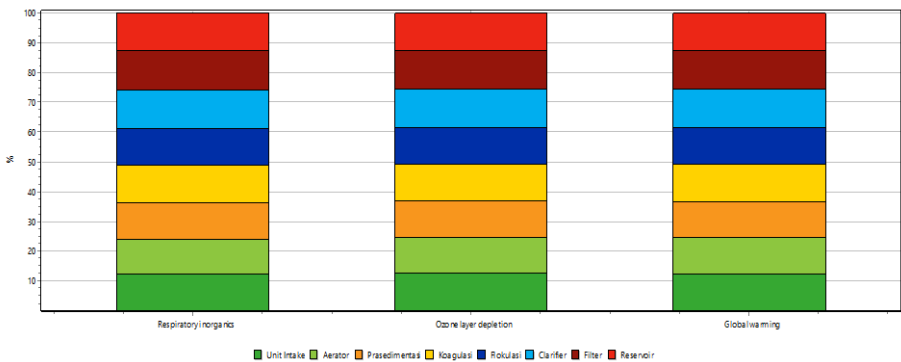
Setelah dilakukan tahap *Life Cycle Impact Assessment* pada unit reservoir maka langkah selanjutnya akan dianalisis pada tahap pada sub bab 4.2.5.1 mengenai analisis LCIA tahap *Characterization*.

4.2.5 Penilaian Dampak Proses Pengolahan di IPAM “X” Secara Keseluruhan

Ruang lingkup yang digunakan untuk penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan pada software SimaPro adalah *Cradle to Gate*. Pada tahap penilaian yang dilakukan untuk proses pengolahan air maka dapat dilihat hasil *Life Cycle Impact Assessment* berdasarkan karakteristiknya. Hasil Tree Diagram dapat dilihat pada lampiran II.

4.2.5.1 Analisis *Characterization*

Analisis karakterisasi merupakan tahapan untuk membandingkan hasil dari penginput data pada life cycle inventory pada tiap kategorinya. Metode yang digunakan pada pada penilaian dampak adalah metode Impact2002+ yang menghasilkan 14 kategori dampak. Pada penelitian ini penilaian dampak difokuskan pada 3 dampak yaitu *Respiratory Inorganics*, *Ozone Layer Depletion*, dan *Global Warming*. Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil *characterization* dari keseluruhan proses pengolahan air di IPAM “X”.



Gambar 4. 19 Diagram *Characterization* Impact Assessment IPAM “X”

Gambar 4. 19 menunjukkan diagram hasil dampak dari proses pengolahan air di IPAM “X”. Hasil yang ditunjukkan pada diagram berupa presentase. Untuk unit intake menghasilkan 12,0% *Respiratory Inorganics*, 12,3 % *Ozone Layer Depletion*, dan 12,3 % *Global Warming*. Untuk unit aerator menghasilkan 12,0% *Respiratory Inorganics*, 12,3% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,3% *Global Warming*. Untuk unit prasedimentasi menghasilkan 12,0% *Respiratory Inorganics*, 12,3% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,3% *global warming*. Untuk unit koagulasi menghasilkan 12,6% *Respiratory Inorganics*, 12,4% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,4% *global warming*. Untuk unit flokulasi menghasilkan 12,6% *Respiratory Inorganics*, 12,4% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,4% *Global Warming*. Untuk unit clarifier menghasilkan 13,1% *Respiratory Inorganics*, 12,9% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,9% *Global Warming*. Untuk unit filter menghasilkan 13,1% *Respiratory*

Inorganics, 12,8% *Ozone Layer Depletion*, dan 12,9% *Global Warming*. Untuk unit reservoir menghasilkan 12,6% *respiratory inorganics*, 12,7% *ozone layer depletion*, dan 12,5% *global warming*.

Faktor karakterisasi kerusakan zat dapat diperoleh dengan mengalikan potensi karakterisasi midpoint yang ada dengan faktor kerusakan karakterisasi zat. Tabel 4.21 menunjukkan factor karakterisasi zat.

Tabel 4. 21 faktor kerusakan karakterisasi

Midpoint Category	damage factor	Unit
Respiratory Inorganics	7,00E-04	DALY/kg PM2.5
Ozone Layer Depletion	1,50E-03	DALY/kg CFC-11
Global Warming	1	kg CO2/ kg CO2

Sumber : *IMPACT 2002+ A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*, 2003

Dari Tabel 4.21 diketahui bahwa setiap penilaian dampak memiliki nilai yang telah ditetapkan pada dampak *Life Cycle Impact Assessment*. Berikut perhitungan LCIA didalam penelitian ini.

- **Intake**

$$\begin{aligned}
 &\text{Hasil LCI } \textit{Global Warming} = 80764,4 \text{ kg} \\
 &\text{LCIA} = \textit{Damage factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 1 \times 80764,4 \text{ kg} \\
 &= 80764,4 \text{ kg} \\
 &\text{Hasil LCI } \textit{Ozone Layer Depletion} = 0.0018 \text{ kg} \\
 &\text{LCIA} = \textit{Damage factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 0,0015 \times 0,0018 \text{ kg} \\
 &= 2,701 \times 10^{-6} \text{ kg} \\
 &\text{Hasil LCI } \textit{Respiratory Inorganics} = 30,1 \text{ kg} \\
 &\text{LCIA} = \textit{Damage factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 0,0007 \times 30,1 \text{ kg} \\
 &= 0,02 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Aerator
 - Hasil LCI *Global Warming* = 80764,44 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 80764,44 kg
 - = 80764,44 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0018 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0018 kg
 - = $2,70 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 30,09 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 30,09 kg
 - = 0,021 kg
- Prasedimentasi
 - Hasil LCI *Global Warming* = 80799,21 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 80799,21 kg
 - = 80799,21 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0018 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0018 kg
 - = $2,703 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 30,10 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 30,10 kg
 - = 0,021 kg
- Koagulasi
 - Hasil LCI *Global Warming* = 81995,8 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 81995,8 kg
 - = 81995,8 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0018 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0018 kg
 - = $2,72 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 31,46 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 31,46 kg
 - = 0,022 kg

- Flokulasi
 - Hasil LCI *Global Warming* = 82002,43 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 82002,43 kg
 - = 81995,801 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0018 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0018 kg
 - = $2,72 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 31,46 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 31,46 kg
 - = 0,022 kg
- Clarifier
 - Hasil LCI *Global Warming* = 85327,1 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 85327,1 kg
 - = 85327,1 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0019 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0019 kg
 - = $2,83 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 32,74 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 32,74 kg
 - = 0,023 kg
- Filter
 - Hasil LCI *Global Warming* = 85114,43 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 85114,43 kg
 - = 85114,43 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,0019 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,0019 kg
 - = $2,82 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 32,65 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 32,65 kg
 - = 0,023 kg

- Reservoir
 - Hasil LCI *Global Warming* = 82143,24 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 1 x 82143,24 kg
 - = 82143,24 kg
 - Hasil LCI *Ozone Layer Depletion* = 0,00186 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0015 x 0,00186 kg
 - = $2,80 \times 10^{-6}$ kg
 - Hasil LCI *Respiratory Inorganics* = 31,52 kg
 - LCIA = *Damage factor* x Hasil LCI
 - = 0,0007 x 31,52 kg
 - = 0,022 kg

Setelah dilakukan perhitungan *Life Cycle Impact Assessment* tahap *characterization*. Langkah selanjutnya perhitungan *Life Cycle Impact Assessment* tahap normalisasi pada sub bab 4.2.5.2. Pada tahap normalisasi akan dilakukan penyetaraan satuan agar masing-masing dampak dapat dibandingkan kontribusinya terhadap lingkungan.

Hasil impact Assessment keseluruhan proses berdasarkan *characterization* dapat dilihat pada Tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4. 22 Hasil *Characterization* Proses Pengolahan IPAM “X”

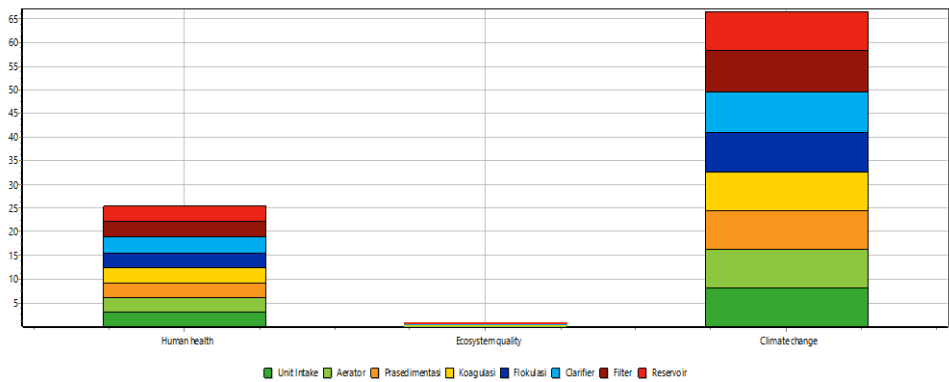
Impact category	Unit	Total	Air Intake	Aerator	Prasedimentasi	Koagulasi	Flokulasi	Clarifier	Filter	Reservoir
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	250,1	30,1	30,1	30,1	31,5	31,5	32,7	32,7	31,5
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0,0147	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0019	0,0019	0,0019
Global warming	kg CO2 eq	658911,5	80764,4	80764,4	80799,2	81995,8	82002,4	85327,5	85114,4	82143,2

Sumber : hasil perhitungan SimaPro

4.2.5.2 Analisis Normalization

Tahapan normalisasi ini dilakukan untuk memudahkan perbandingan antar *Impact Category*. Faktor normalisasi pada Tabel 4.23 ditentukan dengan rasio dampak per unit emisi dibagi dengan dampak total semua zat dari kategori tertentu dengan factor karakterisasi yang ada. Nilai impact category dari characterization dibagi dengan nilai referensi (normal) sehingga semua *Impact Category* menggunakan unit atau satuan yang sama agar nilai tersebut dapat dibandingkan.

Pada Gambar 4.20 terlihat hasil diagram normalisasi pada proses pengolahan air di IPAM “X”



Gambar 4. 20 Diagram normalisasi yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X”

Tabel 4. 23 Faktor Normalisasi

Damage Categories	Normalization Factor	Unit
Human Health	0,0077	DALY/pers/yr
Ecosystem Quality	4650	PDF-m2.yr/pers/yr
Climate Change	9950	Kg CO2/pers/yr
Resources	152000	MJ/pers/yr

Sumber : *IMPACT 2002+ A New Life Cycle Impact Assessment Methodology* , 2003

Dari Tabel 4. 23 diketahui bahwa setiap dampak assessment berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ecosystem, perubahan cuaca dan sumber daya. Berikut contoh perhitungan normalisasi dampak *global warming* pada penelitian ini.

1. Intake

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{80764,44 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,12 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit intake menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,12

2. Aerator

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{80764,44 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,12 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit aerator menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,12

3. Prasedimentasi

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{80799,21 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,12 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit prasedimentasi menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,12

4. Koagulasi

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{81995,8 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,24 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit koagulasi menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,24

5. Flokulasi

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{82002,4 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,24 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit flokulasi menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,24

6. Clarifier

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \\ &= \frac{85327,5 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}} \\ &= 8,58 \end{aligned}$$

Sehingga untuk unit clarifier menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,58

7. Filter

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}} \end{aligned}$$

$$= \frac{85114,43 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}}$$

$$= 8,55$$

Sehingga untuk unit filter menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,55

8. Reservoir

- *Global Warming*

Hasil CO₂ characterization =

LCIA

$$= \frac{\text{Hasil CO}_2 \text{ characterization}}{\text{normalization factor}}$$

$$= \frac{82143,243 \text{ kg CO}_2}{9950 \text{ kg}_{\text{pers}}/\text{yr}}$$

$$= 8,256$$

Sehingga untuk unit reservoir menghasilkan dampak global warming sebanyak 8,256

Pada Tabel 4.24 berikut merupakan hasil dari normalisasi pada proses pengolahan air di IPAM "X".

Tabel 4. 24 Hasil Normalisasi Dampak Proses Pengolahan Air di IPAM “X”

Damage category	Total	Unit Intake	Aerator	Prasedimenta si	Koagulasi	Flokulasi	Clarifier	Filter	Reservoir
Human health	25.42	3.05	3.05	3.05	3.20	3.20	3.33	3.33	3.21
Ecosystem quality	0.76	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Climate change	66.55	8.16	8.16	8.16	8.28	8.28	8.62	8.60	8.30

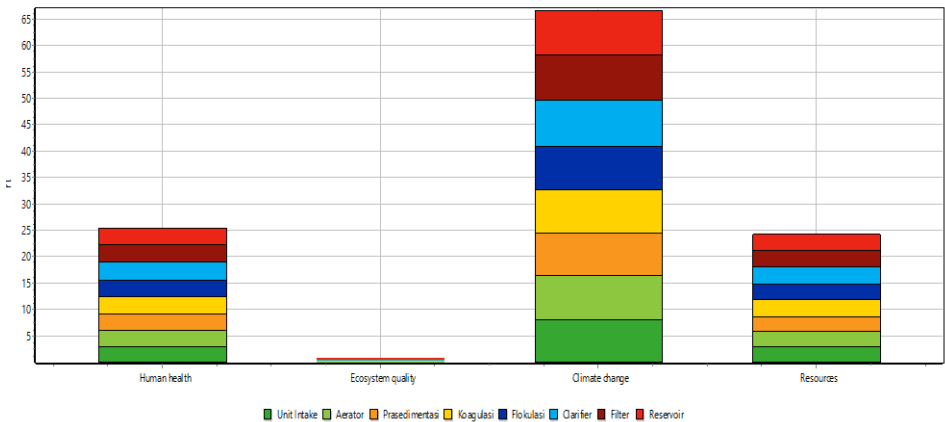
Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Berdasarkan Tabel 4. 24 hasil perhitungan normalisasi dampak lingkungan pengolahan air di IPAM “X” oleh software SimaPro menunjukkan bahwa *Human Health* dan *Climate Change* menghasilkan dampak yang cukup besar secara keseluruhan dengan total sebesar 25,4 dan 66,55. Setelah dilakukan perhitungan *Life Cycle Impact Assessment* tahap normalisasi. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis weighting (pembobotan) pada sub bab 4.2.5.3.

4.2.5.3 Analisis *Weighting*

Untuk membandingkan berbagai potensi dampak lingkungan, penilaian harus dibuat dengan kategori relatif terhadap satu sama lain. Hal ini dapat dilakukan dengan weighting atau pembobotan. Pembobotan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil normalisasi atau dampak normalisasi nilai potensial dengan faktor bobot. Faktor pembobotan yang digunakan bernilai 1 (satu) (Jolliet et al,2003).

Pada Gambar 4. 21 terlihat hasil diagram weighting/pembobotan pada proses pengolahan air di IPAM “X”



Gambar 4. 21 Diagram weighting yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X” pada software SimaPro 8.5

Tabel 4. 25 Hasil Pembobotan Dari Pada Proses Pengolahan Air di IPAM “X”.

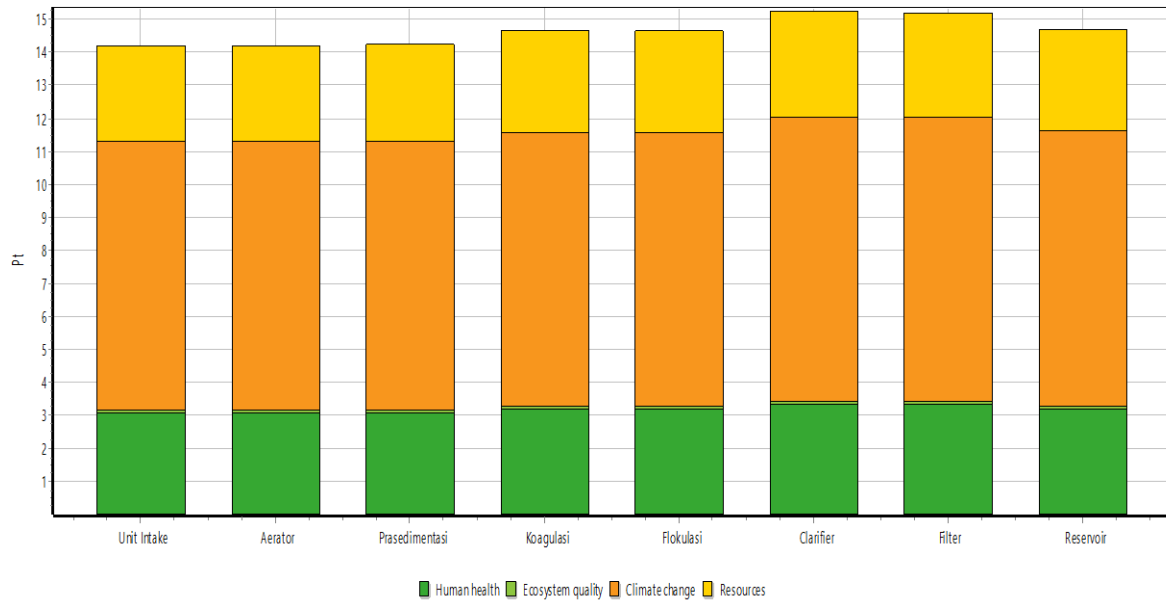
Damage category	Unit	Total	Unit Intake	Aerator	Prasedimentasi	Koagulasi	Flokulasi	Clarifier	Filter	Reservoir
Total	Pt	117,01	14,21	14,21	14,22	14,63	14,64	15,23	15,19	14,67
Human health	Pt	25,42	3,05	3,05	3,05	3,20	3,20	3,33	3,33	3,21
Ecosystem quality	Pt	0,76	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Climate change	Pt	66,55	8,16	8,16	8,16	8,28	8,28	8,62	8,60	8,30

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

Berdasarkan Tabel 4. 25 hasil perhitungan normalisasi dampak lingkungan pengolahan air di IPAM “X” oleh software SimaPro menunjukkan bahwa *global warming* dan *ozone layer depletion* menghasilkan dampak yang cukup besar secara keseluruhan dengan total sebesar 66,55 dan 25,42. Hasil pada *weighting* sama dengan hasil normalisasi karena faktor bobot yang digunakan bernilai 1.

4.2.5.4 Analisis Single Score

Single score merupakan klasifikasi semua nilai dari *impact category* berdasarkan proses ataupun material pembentuknya. Hasil dari single score akan didapatkan faktor yang berkontribusi pada dampak lingkungan, baik dari material ataupun proses produk. Pada Gambar 4.22 terlihat hasil diagram *weighting/pembobotan* pada proses pengolahan air di IPAM “X” . pada Tabel 4.26 dapat dilihat hasil single score pada proses pengolahan air di IPAM “X”.



Gambar 4. 22 Diagram single score yang terlihat pada proses pengolahan air di IPAM “X” pada software SimaPro 8.5

Tabel 4. 26 Hasil Single Score Dari Pada Proses Pengolahan Air di IPAM “X”.

Damage category	Unit	Total	Unit Intake	Aerator	Prasedimentasi	Koagulasi	Flokulasi	Clarifier	Filter	Reservoir
Total	Pt	117,01	14,21	14,21	14,22	14,63	14,64	15,23	15,19	14,67
Human health	Pt	25,42	3,05	3,05	3,05	3,20	3,20	3,33	3,33	3,21
Ecosystem quality	Pt	0,76	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Climate change	Pt	66,55	8,16	8,16	8,16	8,28	8,28	8,62	8,60	8,30
Resources	Pt	24,28	2,92	2,92	2,92	3,05	3,05	3,18	3,17	3,07

Sumber : Hasil perhitungan SimaPro

4.3 Hubungan Alternatif Perbaikan dengan Impact pada Analisis LCA

Berdasarkan hasil analisis dampak dengan menggunakan metode LCA pada sub-bab 4.3, diketahui bahwa proses pengolahan air di IPAM “X” memberikan dampak yang sangat besar terhadap *Respiratory Inorganics*, *ozone layer depletion* dan kategori *Global Warming*.

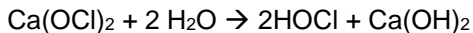
Untuk kategori *Respiratory Inorganics* yang termasuk pada kategori dampak *human health* yang lebih terfokus pada permasalahan pernafasan yang dapat mengakibatkan berbagai penyakit seperti sesak nafas , *pneumonitis*, *tuberculosis*, dan *emphysema*. Untuk penggunaan koagulan sintetik jenis aluminium sulfat (tawas) untuk pengolahan air minum dapat menimbulkan masalah kesehatan syaraf seperti penyakit alzheimer, Parkinson dan penyakit syaraf lainnya. Koagulan jenis aluminium sulfat tidak dapat dihilangkan sepenuhnya sehingga meninggalkan sisa residu pada sampel air minum. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak terhadap *human health* diperlukan alternatif perbaikan yaitu optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum.

Untuk kategori *Global Warming* disebabkan oleh penggunaan energi listrik yang digunakan pada beberapa unit. Kategori dampak global warming merupakan dampak yang besar yang dihasilkan dari proses pengolahan air di IPAM “X”. Hal ini disebabkan karena gas CO₂ yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi besar pada pembakaran bahan bakar untuk *supply* energi listrik di beberapa unit pada IPAM “X”. Suatu penelitian menjelaskan untuk mengolah 200.000 m³ air baku, membutuhkan listrik sebesar 3638±503 kwh/hari dan emisi CO₂ yang disumbangkan dari proses pengolahan secara konvensional adalah 2031±281 kgCO₂/hari (Kyung *et al*, 2013).

Sedangkan kategori *Ozone Layer Depletion* ditimbulkan penggunaan bahan kimia sebagai desinfektan jenis klor dan yang sangat berpengaruh terhadap penipisan lapisan ozon. *Ozone Layer Depletion* disebabkan oleh penginjeksian klor yang

berlebihan kedalam air pada saat proses desinfeksi. Oleh karena itu, diperlukan suatu alternatif untuk mengurangi dampak penipisan lapisan ozon berupa melakukan substitusi desinfektan jenis klor dengan desinfektan yang tidak bersifat toksik atau beracun bagi makhluk hidup dan juga bahayanya terhadap penipisan lapisan ozon seperti desinfektan jenis garam Hipoklorit yang berwujud liquid (cair). Alternatif perbaikan untuk mereduksi dampak lingkungan yang timbul akibat proses utama dari pengolahan air di IPAM “X”. Jika jenis desinfektan yang digunakan berupa garam hipoklorit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$).

Reaksi yang dilarutkan dalam air akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Reaksi di atas menghasilkan asam hipoklorit. Reaksi asam hipoklorit mengikuti persamaan sebagai berikut :



Jumlah HOCl dan OCl^- yang ada dalam air disebut klor tersedia bebas. Efisiensi pembunuhan oleh HOCl sekitar 40-80 kali lebih besar dari OCl^- . Oleh karena itu pembentukan HOCl harus dalam jumlah yang lebih besar.

Untuk kategori dampak Global warming yang menjadi dampak terbesar pada proses pengolahan air di IPAM “X” sangat erat kaitan dengan perubahan iklim (*Climate Change*). Dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca yang salah satunya ada CO_2 , maka akan semakin banyak panas yang ditahan dipermukaan bumi dan akan mengakibatkan suhu permukaan bumi menjadi meningkat. Meningkatnya suhu udara ini akan dapat mengakibatkan adanya perubahan iklim yang sangat ekstrim di bumi.

Alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak global warming adalah energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta *maintenance*. Energi surya dikonversi menjadi energi listrik dengan

menggunakan panel surya (*solar cell*). Solar Panel sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada pagi - sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari. Umumnya jika panel surya yang digunakan dengan modul surya 50-100 Wp (Watt Peak) akan menghasilkan listrik harian sebanyak 150-300 Wh dengan asumsi waktu peak sekitar 4-5 jam. Alternatif ini dapat mengurangi dampak pemanasan global. Kisaran harga modul surya 50-100 wp sekitar Rp1.500.000,00.

Alternatif yang digunakan pada proses pengolahan air di IPAM “X” merupakan alternatif yang didapatkan dari hasil analisis dan hasil diskusi dengan pihak terkait yang bekerja pada proses pengolahan air di IPAM “X” serta dosen pembimbing. Hasil analisis dilakukan dengan cara analisis literatur yang didapatkan pada jurnal. Sedangkan, hasil diskusi dilakukan dengan cara bertukar pendapat dengan pihak terkait yang bekerja di proses produksi pengolahan air di IPAM “X” sehingga proses produksi dapat bekerja lebih maksimal untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi.

Beberapa alternatif yang digunakan sebagai tujuan untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi sesuai analisis LCA dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Alternatif Perbaikan yang direncanakan

Alternatif	Cara Kerja	Manfaat
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	Melakukan perhitungan kembali terhadap dosis koagulan yang digunakan, melakukan uji jartest setiap hari agar jumlah yang digunakan menjadi lebih sedikit	Untuk mengurangi dosis koagulan yang digunakan yang menghasilkan residu yang berbahaya bagi kesehatan.

Alternatif	Cara Kerja	Manfaat
Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	Penyerapan sinar matahari yang digunakan segala energy listrik dan melakukan pengawasan terhadap unit yang menggunakan energy listrik agar kinerja sesuai SOP.	Mengurangi pemakaian energi listrik yang berpengaruh terhadap pemanasan global.
Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit	Melakukan pergantian jenis desinfektan klor menjadi hipoklorit	Mengurangi penipisan lapisan ozon dan penyakit bagi makhluk hidup
Penggunaan Tube settler pada unit prasedimentasi	Memasang tube settler pada unit prasedimentasi atau bak pengendap I	Supaya penggunaan alum lebih sedikit yang menyebabkan kualitas air yang keluar dari unit selanjutnya lebih jernih sehingga fekuensi backwash lebih lama.

Sumber : (*) Andiwijaya , 2015

(**) Putra dan Rangkuti ,2016

(***) Solomon dkk, 2011

4.4 Pemilihan Alternatif Terbaik dengan AHP

Keputusan yang menggunakan beberapa variabel dengan proses analisis bertingkat. Analisis dilakukan dengan memberi nilai prioritas dari tiap-tiap variabel, kemudian melakukan perbandingan berpasangan dari variabel-variabel dan alternatif- alternatif yang ada (Saaty, 2008 dalam Purnomo, dkk., 2013).

AHP dapat dipakai untuk menentukan pembobotan baik kriteria maupun alternatif (Saputri dan Wiguna, 2013). Metode AHP ini membantu memecahkan persoalan yang kompleks dengan menstruktur suatu hierarki kriteria, pihak yang berkepentingan,

hasil, dan dengan menarik berbagai pertimbangan guna mengembangkan bobot atau prioritas (Adhi, 2010). Pada penerapan metode AHP yang diutamakan adalah kualitas data dari responden, dan tidak tergantung pada kuantitasnya (Saaty, 1993 dalam Susanto, 2008). Oleh karena itu, penilaian AHP memerlukan pakar sebagai responden dalam pengambilan keputusan dalam pemilihan alternatif. Para pakar disini merupakan orang-orang kompeten yang benar-benar menguasai, mempengaruhi pengambilan kebijakan atau benarbenar mengetahui informasi yang dibutuhkan.

Untuk jumlah responden dalam metode AHP tidak memiliki perumusan tertentu, namun hanya ada batas minimum yaitu dua orang responden (Saaty, 1993 dalam Susanto, 2008). Dalam penelitian ini dipilih metode AHP dalam analisis hasil kuesioner dikarenakan metode AHP mempermudah peneliti dalam melakukan perhitungan serta menghindari adanya ketidakkonsistenan dalam melakukan perbandingan berpasangan. Langkah-langkah dalam analisis AHP yang dilakukan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Menyusun hierarki dari permasalahan yang dihadapi.
2. Penilaian kriteria dan alternatif dengan skala terbaik 1-9 melalui perbandingan berpasangan.
3. Menentukan prioritas dengan pertimbangan-pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan.
4. Mengukur konsistensi pemberian nilai dalam perbandingan antar kriteria dan alternatif.

Mengisi matriks perbandingan berpasangan yaitu dengan menggunakan bilangan untuk merepresentasikan kepentingan relatif dari satu elemen terhadap elemen lainnya yang dimaksud dalam bentuk skala dari 1 sampai dengan 9. Skala ini mendefinisikan dan menjelaskan nilai 1 sampai 9 untuk pertimbangan dalam perbandingan berpasangan elemen pada setiap level hierarki terhadap suatu kriteria di level yang lebih tinggi. Apabila suatu elemen dalam matriks dan dibandingkan dengan dirinya sendiri, maka diberi nilai 1. Berikut ini skala kuantitatif 1 sampai dengan 9 untuk menilai tingkat kepentingan suatu elemen dengan elemen lainnya menurut Saaty (1993) dalam Purnomo, dkk (2013):

- a. Skala 1 (*equal importance*) berarti kedua elemen sama penting.
- b. Skala 3 (*weak importance of one over*) berarti elemen yang satu sedikit lebih penting dari yang lainnya.
- c. Skala 5 (*essential or strong importance*) berarti elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya.
- d. Skala 7 (*demonstrated importance*) berarti elemen yang satu jelas sangat penting daripada elemen yang lainnya.
- e. Skala 9 (*extreme importance*) berarti elemen yang satu mutlak sangat penting daripada elemen yang lainnya.
- f. Skala 2, 4, 6, 8 berarti nilai tengah yang saling berdekatan diantara kedua elemen.

Hasil kuisioner mengenai pemiliha alternatif guna mereuksi dampak yang disebabkan dari proses pengolahan air ddi IPAM “X” dilampirkan pada lampiran VI.

4.4.1 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur AHP

Setelah mengetahui dampak lingkungan yang terjadi berdasarkan hasil analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) serta alternatif perbaikan yang mungkin diterapkan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan kriteria penilaian. Terdapat tiga kriteria yang digunakan pada penelitian ini, yaitu biaya investasi dan produksi, kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan, serta kemudahan dalam pelaksanaan. Kriteria tersebut didasarkan pada aspek finansial, lingkungan, dan operasional. Hal tersebut bertujuan untuk melihat keefektifan dari alternatif perbaikan yang akan diterapkan. Berikut ini adalah penjelasan secara singkat untuk setiap kriteria yang dibandingkan:

- Berdasarkan biaya investasi dan produksi. Kriteria biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja, dan biaya pelatihan untuk menambah wawasan tenaga kerja dalam pengoperasian alternatif yang dipilih. Sedangkan, biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan yang digunakan pada operasional alternatif, biaya perawatan alternatif, serta biaya perbaikan alternatif.
- Berdasarkan kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan. Kriteria kinerja alternatif terhadap dampak

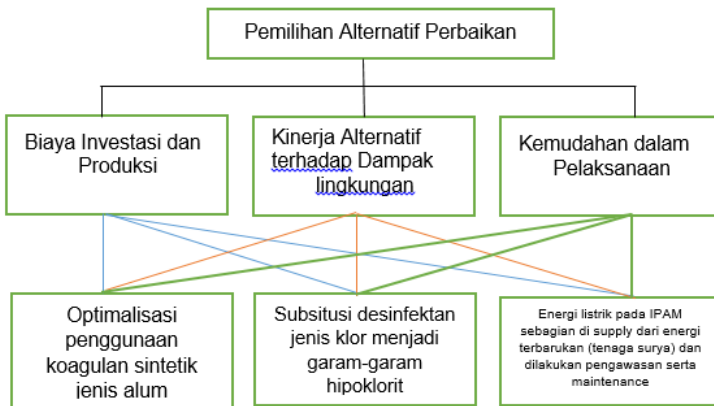
lingkungan merupakan kriteria yang menunjukkan seberapa besar pengaruh alternatif yang dipilih terhadap optimalisasi reduksi dampak dari hasil analisis LCA.

- Berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan. Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan kriteria yang menunjukkan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif yang dipilih terbilang rendah.

4.4.2 Penyusunan Hierarki AHP

Permasalahan yang akan diselesaikan diuraikan dalam bentuk unsur-unsur yang terpisah dan digambarkan dalam bentuk hierarki. Penyusunan hierarki dimulai dengan menentukan tujuan yang merupakan sasaran sistem secara keseluruhan pada level teratas. Pada penelitian ini yang menjadi tujuan adalah pemilihan alternatif terbaik yang dapat dilakukan pada proses pengolahan air di IPAM “X”. Level berikutnya terdiri dari kriteria-kriteria untuk menilai atau mempertimbangkan alternatif-alternatif yang ada. Kriteria-kriteria dalam penelitian ini adalah biaya investasi dan produksi, kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan, serta kemudahan dalam pelaksanaan. Pada level paling bawah terdiri dari alternatif-alternatif perbaikan yang akan dipilih untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi.

Untuk hierarki proses pengolahan air di IPAM “X” yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 4.23



Gambar 4. 23 Hierarki Proses Pengolahan Air Di IPAM “X”

4.4.3 Analisis Pemilihan Alternatif Terbaik

Alternatif yang telah direncanakan akan dipilih berdasarkan kriteria yang telah dipilih. Pemilihan berdasarkan kriteria dilakukan untuk mempermudah dalam penentuan alternatif terbaik. Alternatif terbaik yang terpilih diharapkan dapat mereduksi dampak. Selanjutnya akan dibahas mengenai alternatif terbaik dari masing-masing proses.

4.4.3.1 Alternatif Terbaik Kegiatan Pengolahan Air di IPAM “X”

Penentuan alternatif terbaik berdasarkan penyebaran kuisioner kepada responden yang telah ahli dan memahami kegiatan tersebut. Dari kuisioner tersebut didapatkan alternatif yang memungkinkan untuk diaplikasikan. Pemilihan responden sebanyak 5 orang yang terdiri dari manager produksi dan distribusi, 2 supervisor pengolahan, dan 2 orang supervisor *engineer*. Kelima responden memberikan bobot pada perbandingan kriteria dan alternatif sesuai dengan kuisioner yang telah diberikan. Hasil kuisioner dari 5 responden dapat dilihat pada lampiran IV. Dari hasil kuisioner tersebut dilakukan penginputan data ke aplikasi *Expert Choice*. Berdasarkan hasil kuisioner dilakukan pembobotan kriteria dan alternatif, ditunjukkan pada Tabel 4.28 berikut:

Tabel 4. 28 Pembobotan Pemilihan Kriteria Alternatif

	Biaya Inve	Dampak Li	Kemudaha
Biaya Investasi dan Produksi		1.74543	1.58489
Dampak Lingkungan			1.12475
Kemudahan Pelaksanaan	Incon: 0.09		

Sumber : hasil Expert Choice

Dari Tabel 4.28 diketahui bahwa nilai pembobotan dari lima responden untuk biaya investasi & produksi dengan kemudahan pelaksanaan adalah 1,58489, biaya Investasi & produksi dengan dampak lingkungan adalah 1,74543, dan dampak lingkungan dengan kemudahan pelaksanaan adalah 1,12475. Nilai pembobotan berdasarkan akumulasi pemilihan yang telah dilakukan masing-

masing responden. Dimana pemilihan responden menunjukkan prioritas terhadap kriteria dan alternatif..

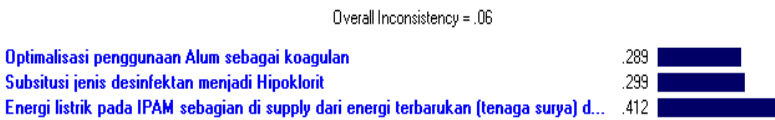
Berikut hasil pembobotan kriteria pada Gambar 4.24:



Gambar 4. 24 Penentuan Kriteria Terpilih

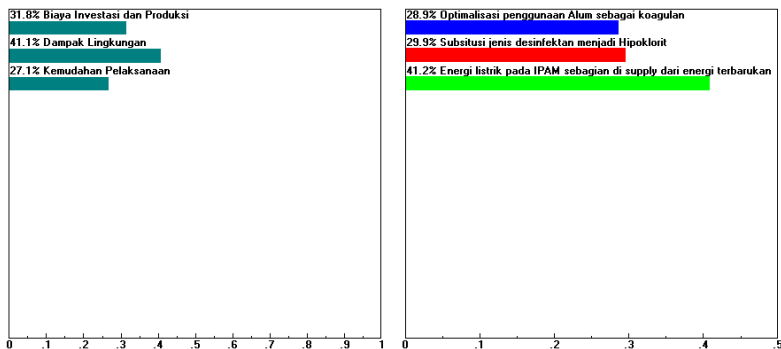
Dari Gambar 4.24 menjelaskan bahwa kriteria biaya investasi & produksi memiliki tingkat kepentingan sebesar 0,318, kriteria dampak lingkungan sebesar 0,411, dan kriteria kemudahan pelaksanaan sebesar 0,271, sehingga total dari 3 kriteria adalah 1.0. Dengan kepentingan terbesar adalah kriteria dampak lingkungan.

Dari hasil proses penginputan data setiap kriteria didapatkan alternatif terbaik yang akan dipilih sebagai saran dan rekomendasi bagi perusahaan guna mereduksi dampak yang disesbkan dari pengolahan air di IPAM “X”. Hasil analisis menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) disajikan pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Penentuan Alternatif Perbaikan

Dari Gambar 4.25 diketahui bahwa dari hasil pembobotan untuk mengatasi dampak yang disebabkan dari proses pengolahan air di IPAM “X” adalah energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance dengan nilai kepentingan 0,412. Berikut Gambar 4.26 menampilkan jumlah persen responden dalam pemilihan kriteria dan alternatif.



Gambar 4. 26 Diagram *Dynamic* alternatif perbaikan Proses Pengolahan di IPAM “X”

Dari Gambar 4.26 diketahui bahwa 41,1% responden memilih kriteria dampak lingkungan sebagai penentuan alternatif yang akan dipilih. Sehingga, dari ketiga alternatif tersebut 41,2% responden memprioritaskan pada alternatif energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dikarenakan saat ini “IPAM X” sedang dalam proses pemanfaatan energi terbarukan (tenaga surya).

Dari serangkaian analisis yang dilakukan pada proses pengolahan air di IPAM “X” memberikan dampak yang besar terhadap pengaruh *Global Warming*. Pada proses pengolahan air di IPAM “X” akibat konsumsi energi listrik memberi dampak yang besar bagi global warming. Konsumsi energi listrik menghasilkan emisi gas CO₂ yang merupakan gas rumah kaca. Pada hasil analisis pemilihan alternatif terbaik guna mereduksi dampak lingkungan yang dihasilkan kriteria terbesar pada kategori dampak lingkungan dengan alternatif terpilih yaitu energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dan juga dilakukan *maintenance* dan pengawasan. Alternatif ini memberikan manfaat mengurangi pemakaian energi listrik yang berpengaruh terhadap pemanasan global dari emisi CO₂ yang dihasilkan.

4.4.4 Validasi Hasil AHP

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan software Expert Choice, langkah selanjutnya adalah melakukan validasi hasil secara perhitungan manual untuk memastikan hasil analisis melalui software Expert Choice.

4.4.4.1 Penilaian Kriteria dan Alternatif

Pada penelitian ini, jumlah responden yang mengisi kuesioner terdiri dari 5 orang. Untuk rincian pihak responden dapat dilihat pada Lampiran IV. Pemilihan responden ini didasarkan pada posisi struktural yang terdapat pada perusahaan dan keterkaitannya dengan objek penelitian. Matriks perbandingan berpasangan diperoleh dari sampel data sebanyak 5 responden, maka perlu dibuat rata-rata untuk masing-masing elemen dengan cara mengalikan semua elemen matriks banding yang seletak, kemudian diakar pangkatkan dengan banyaknya responden. Sehingga didapatkan matriks perhitungan rata-rata untuk masing-masing elemen. Berikut ini adalah contoh perhitungan perbandingan rata-rata antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan:

- Hasil kuesioner perbandingan berpasangan antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan adalah 1/3, 1/3, 5, 4, 1/3, dan 1/3

Perbandingan rata-rata.

$$= (1/3 \times 1/3 \times 5 \times 4 \times 1/3)^{1/5}.$$

$$= 0,573.$$

Untuk hasil perbandingan rata-rata pada setiap elemen dapat dilihat pada Tabel 4.29-Tabel 4.32, dengan definisi kode sebagai berikut:

- K1 berarti kriteria biaya investasi dan produksi.
- K2 berarti kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan.
- K3 berarti kriteria kemudahan dalam pelaksanaan.
- A1 berarti alternatif Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum
- A2 berarti alternatif Substitusi desinfektan jenis Chlor menjadi garam-garam hipoklorit

- A3 berarti alternatif energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance .

Tabel 4. 29 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar kriteria

Kode	K1	K2	K3
K1	1.00	0.57	1.59
K2	1.75	1.00	1.12
K3	0.63	0.89	1.00
Jumlah	3.38	2.46	3.71

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 30 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi

Kode	A1	A2	A3
A1	1	0.71	1.04
A2	1	1	1.125
A3	0.964	0.889	1
Jumlah	3.373	2.5986	3.162

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 31 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan

Kode	A1	A2	A3
A1	1.00	1.11	0.73
A2	0.90	1.00	0.36
A3	1.38	2.77	1.00
Jumlah	3.28	4.87	2.09

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 32 Matriks Perbandingan Rata-Rata Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan

Kode	A1	A2	A3
A1	1.00	1.25	0.80
A2	0.80	1.00	0.56
A3	1.25	1.78	1.00
Jumlah	3.05	4.03	2.36

Sumber : hasil perhitungan

4.4.4.2 Penentuan Prioritas

Synthesis of priority adalah penentuan prioritas dari elemen yang terdapat dalam matriks perbandingan berpasangan. Hal ini sering kali disebut sebagai bobot atau kontribusi terhadap tujuan pengambilan keputusan (Setiawan, 2016). Hal-hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah sebagai berikut:

- Menjumlahkan nilai-nilai dari setiap kolom pada matriks.
- Membagi setiap nilai dari kolom dengan total kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks.
- Menjumlahkan nilai-nilai dari setiap matriks dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan nilai rata-rata atau bobot.

Penentuan prioritas atau bobot dilakukan sebanyak jumlah matriks perbandingan yang telah dibuat. Dalam penelitian ini penentuan prioritas/bobot yang dibuat akan mewakili:

- Matriks perbandingan rata-rata antar kriteria.
- Matriks perbandingan rata-rata antar alternatif perbaikan berdasarkan kriteria biaya investasi dan produksi.
- Matriks perbandingan rata-rata antar alternatif perbaikan berdasarkan kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan.
- Matriks perbandingan rata-rata antar alternatif perbaikan berdasarkan kriteria kemudahan dalam pelaksanaan.

Berikut ini adalah contoh perhitungan penentuan prioritas atau bobot untuk kriteria biaya investasi dan produksi:

- Hasil perbandingan rata-rata antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria kinerja alternatif seperti yang terlihat pada Tabel 4.29 adalah 0,573.
- Hasil perbandingan rata-rata antara kriteria kinerja alternatif dengan semua kriteria yang dapat dilihat pada Tabel 4.29 (dibaca vertikal) adalah 0,573; 1; dan 0,889.
- Jumlah nilai perbandingan rata-rata untuk kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan.
 $= 0,573 + 1 + 0,889$
 $= 2,462$
- Normalisasi matriks antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan.
 $= \text{nilai perbandingan rata-rata antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria kinerja alternatif} / \text{jumlah nilai perbandingan rata-rata untuk kriteria kinerja alternatif}.$
 $= 0,573 / 2,462.$
 $= 0,233$
- Dilakukan perhitungan normalisasi matriks antara kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria lainnya seperti cara diatas. Maka didapatkan nilai normalisasi matriks untuk kriteria biaya investasi dan produksi dengan kriteria lainnya adalah 0,296; 0,233; dan 0,428.
- Jumlah nilai normalisasi matriks untuk kriteria biaya investasi dan produksi.
 $= 0,296 + 0,233 + 0,428.$
 $= 0,957$
- Nilai rata-rata atau bobot untuk kriteria biaya investasi dan produksi.
 $= \text{Jumlah nilai normalisasi matriks} / \text{jumlah elemen}.$
 $= 0,957 / 3.$
 $= 0,319.$

Tabel 4. 33 Normalisasi dan Pembobotan Antar kriteria

Kode	K1	K2	K3	Total	Bobot
K1	0.296	0.233	0.428	0.957	0.319

Kode	K1	K2	K3	Total	Bobot
K2	0.517	0.406	0.302	1.225	0.408
K3	0.187	0.361	0.270	0.818	0.273

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 34 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi

Kode	A1	A2	A3	Total	Bobot
A1	0.296	0.273	0.328	0.897	0.299
A2	0.418	0.385	0.356	1.158	0.386
A3	0.286	0.342	0.316	0.944	0.315

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 35 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan

Kode	A1	A2	A3	Total	Bobot
A1	0.305	0.227	0.347	0.879	0.293
A2	0.275	0.205	0.173	0.653	0.218
A3	0.420	0.568	0.479	1.467	0.489

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 36 Normalisasi dan Pembobotan Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan pelaksanaan

Kode	A1	A2	A3	Total	Bobot
A1	0.328	0.309	0.340	0.976	0.325
A2	0.263	0.248	0.237	0.749	0.250
A3	0.409	0.443	0.423	1.275	0.425

Sumber : hasil perhitungan

Berikut ini adalah contoh perhitungan bobot akhir untuk alternatif Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum secara keseluruhan:

- Bobot kriteria biaya investasi dan produksi adalah 0,319.
- Bobot kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan adalah 0,408.
- Bobot kriteria kemudahan dalam pelaksanaan adalah 0,273.
- Bobot alternatif Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum
 - a. Berdasarkan kriteria biaya investasi dan produksi sebesar 0,299
 - b. Berdasarkan kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan sebesar 0,294.
 - c. Berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan sebesar 0,305.
- Bobot akhir alternatif Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum
 - a. Berdasarkan kriteria biaya investasi dan produksi.
 $= 0,299 \times 0,319.$
 $= 0,095.$
 - b. Berdasarkan kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan.
 $= 0,294 \times 0,408.$
 $= 0,120.$
 - c. Berdasarkan kriteria kemudahan dalam pelaksanaan.
 $= 0,305 \times 0,273.$
 $= 0,083.$
- Bobot akhir alternatif Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum
 $= \text{Berdasarkan kriteria 1 + kriteria 2 + kriteria 3.}$
 $= 0,095 + 0,120 + 0,083.$
 $= 0,298.$

Tabel 4. 37 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan biaya investasi dan produksi

Kode	K1	K2	K3	Total	%
A1	0.095	0.122	0.082	0.299	29.9%
A2	0.123	0.158	0.105	0.386	38.6%
A3	0.100	0.129	0.086	0.315	31.5%

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 38 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan dampak lingkungan

Kode	K1	K2	K3	Total	%
A1	0.093	0.120	0.080	0.293	29.3%
A2	0.069	0.089	0.059	0.218	21.8%
A3	0.156	0.200	0.133	0.489	48.9%

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 39 Pembobotan Akhir Setiap Alternatif Perbaikan berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan

Kode	K1	K2	K3	Total	%
A1	0.104	0.133	0.089	0.325	32.5%
A2	0.080	0.102	0.068	0.250	25.0%
A3	0.136	0.174	0.116	0.425	42.5%

Sumber : hasil perhitungan

Jadi alternatif yang menjadi prioritas adalah alternatif 3 yaitu Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta *maintenance* dengan persentase rata – rata 41 % dan kriteria terpilih adalah berdasarkan dampak lingkungan dengan nilai sebesar 40,8 %

4.4.4.3 Perhitungan Konsistensi Logis

A. Konsistensi Antar Kriteria

- Mengalikan nilai perbandingan rata-rata antar kriteria (Tabel 4.29) dan bobot setiap kriteria (Tabel 4.33). Setiap nilai pada kolom pertama dikalikan dengan prioritas relative elemen pertama, nilai pada kolom kedua dikalikan dengan prioritas relatif elemen kedua, dan seterusnya. Kemudian jumlahkan setiap barisnya.

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0,573 & 1,585 \\ 1,745 & 1 & 1,12 \\ 0,631 & 0,889 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,319 \\ 0,408 \\ 0,273 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0,234 & 0,433 \\ 0,557 & 0,408 & 0,408 \\ 0,201 & 0,363 & 0,273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,986 \\ 1,271 \\ 0,837 \end{pmatrix}$$

- Hasil dari penjumlahan baris dibagi dengan elemen prioritas relatif yang bersangkutan (bobot setiap kriteria).

$$= \begin{pmatrix} 0,986 \\ 1,271 \\ 0,837 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,319 \\ 0,408 \\ 0,273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,091 \\ 3,115 \\ 3,066 \end{pmatrix}$$

hasil bagi diatas dengan banyaknya elemen yang ada. Hasil dari perhitungan ini disebut λ_{maks} .

$$= (3,091 + 3,115 + 3,066) / 3.$$

$$= 3,091.$$

- Hitung nilai *consistency index* (CI).

$$= (\lambda_{maks} - n) / (n - 1).$$

$$= (3,091 - 3) / (3 - 1).$$

$$= 0,045.$$

- Hitung *consistency ratio* (CR), Untuk $n = 3$, maka $IR = 0,58$ (Tabel 4.40).

Tabel 4. 40 *Index Random Consistency*

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.58	

Sumber: Purnomo, dkk., 2013

$$= CI / IR.$$

$$= 0,045 / 0,58.$$

$$= 0,078.$$

- Karena $CR \leq 0,10$ berarti preferensi responden adalah konsisten dan hasil perhitungan dapat dinyatakan benar

Tabel 4. 41 Konsistensi Antar Kriteria

Kode	K1	K2	K3	Bobot
K1	1.00	0.57	1.59	0.319
K2	1.75	1.00	1.12	0.408
K3	0.63	0.89	1.00	0.273
CI				0.05
n=3				0.58
CR				0.078448

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 42 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi

Kode	A1	A2	A3	Bobot
A1	1.00	0.71	1.04	0.299
A2	1.41	1.00	1.13	0.386
A3	0.96	0.89	1.00	0.315
CI				0.001
n=3				0.58
CR				0.001724

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 43 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Kinerja Alternatif terhadap Dampak Lingkungan

Kode	A1	A2	A3	Bobot
A1	1.00	1.11	0.73	0.293
A2	0.90	1.00	0.36	0.218
A3	1.38	2.77	1.00	0.489
CI				0.020
n=3				0.58
CR				0.034483

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4. 44 Konsistensi Antar Alternatif Perbaikan berdasarkan Kemudahan dalam Pelaksanaan

Kode	A1	A2	A3	Bobot
A1	1.00	1.25	0.80	0.325
A2	0.80	1.00	0.56	0.250
A3	1.25	1.78	1.00	0.425
CI				0.003
n=3				0.58
CR				0.004483

Sumber : hasil perhitungan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah menjawab tujuan dari penelitian penelitian :

1. Dampak (kontribusi) lingkungan hasil analisis yang terjadi pada serangkaian proses pengolahan air di IPAM "X" disebabkan oleh penggunaan bahan kimia berupa koagulan jenis alum/tawas dan desinfektan jenis klor sera konsumsi energi listrik. Hasil *Life Cycle Impact Assessment* pada serangkaian proses pengolahan air di IPAM "X" adalah *Global Warming* sebesar 658911,5 kg CO₂, *Respiratory Inorganics* sebesar 250,1 kg PM_{2.5}, *Ozone Layer Depletion* sebesar 0,015 kg CFC-11.
2. Alternatif terpilih mengurangi dampak *Respiratory Inorganics* yaitu alternatif optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum dengan nilai responden 28,9%, dampak *ozone layer depletion* yaitu substitusi desinfektan jenis klor dengan garam hipoklori dengan nilai responden 29,9% dan dampak *global warming* yaitu alternatif energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dengan nilai responden 41,2%, dengan kriteria terpilih yaitu dampak lingkungan sebesar 41,1 % responden.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah :

1. Melakukan penelitian lebih dalam mengenai jumlah biaya yang dapat disimpan atau biaya investasi terhadap alternatif yang dipilih.
2. Perlu dilakukan kajian lebih dalam mengenai keseluruhan proses hingga pada proses pengolahan lumpur dan emisi yang dihasilkan tiap-tiap proses.

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, A. 2010. **Pengambilan Keputusan Pemilihan Handphone Terbaik dengan Analytical Hierarchy Process (AHP).** Dinamika Teknik, Vol. 4 (2): 24-33.
- Andiwijaya, F.A. 2015. **Alternatif Koagulan Alami Sebagai Pengganti Atau Pembantu Aluminium Sulfat Pada Proses Pengolahan Air Minum.**
- Anrianisa Dan Sudiran. 2015. **Efektifitas Instalasi Pengolahan Air (IPA) Unit 2 Tirta Kencana Pdam Kota Samarinda Terhadap Kualitas Air Minum.** Universitas Mulawarman. Samarinda
- APHA-AWWA-WEF. 2012. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.** American Public Health Association, Washington DC.
- Boggia, A, Paolotti, L., Castellini, C. 2009. **Environmental Impact Evaluation of Conventional, Organic and Organic-Plus Poultry Production System Using Life Cycle Assessment.** World'S Poultry Science, 66.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau. B., Jedrzejak, S. 2012. **Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants.** Desalination, 284. 42-54.
- Cornwell, D.A., G.P.Westerhoff. 1981. **Management of Water Treatment Plant Sludge, Sludges and Its Ultimate Disposal.** Michigan : Ann Arbor Scientific Publication.
- Damayanti, M. 2012. **Laporan Kerja Praktik Studi Proses Pada Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Kota Surabaya.** Surabaya: Teknik Lingkungan ITS.
- Goedkoop, M. & Spriensma, R. 2000. **The Eco Indicator 99 – A Damage Oriented Method for Life Cycle Assessment Methodology Report 3rd Edition.** BB Amersfort: Pre Consultants.
- Haas, G., Geier,U.,Friebe,B., dan Kopke,U. 2005. **Estimation of Environmental Impact of Conversion to Organic Agriculture in Hamburg Using The Life-Cycle-Assessment Method.** University of Bonn.Germany.
- Hadi, W. 2012. **Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum.**ITS Press .Surabaya

- Hermawan.,Marzuki,P.F.,Abduh,M., dan Driejana,R. 2013. **Peran *Life Cycle Analysis (LCA)* Pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida Pada Efek Gas Rumah Kaca**. Universitas Sebelas Maret.Surakarta
- Karamah,E.F., dan Lubis,A.O.Tanpa Tahun. **Pralakuan Koagulasi Dalam Proses Pengolahan Air Dengan Membran: Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Koagulan Aluminium Sulfat Terhadap Kinerja Membran**. Universitas Indonesia. Jakarta
- Kautzar,G.Z.,Sumantri,Y., dan Yuniarti,R. 2015. **Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas *Supply Chain* Produk Kulit Menggunakan Metode LCA Dan ANP**. Universitas Brawijaya.Malang.
- Kyung, D.,Kim, D., Park, N., Lee, W. 2013. **Estimation Of CO² Emission From Water Treatment Plant – Model Development and Application**. Journal of Environmental Management, 131. 74-81
- Mahyudin.,Soemarno.,Prayogo,T.B. 2015. **Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang**. Universitas Brawijawa.Malang Vol. 6 No.2
- Makkasau, Kasman. 2012. **Penggunaan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Dalam Penentuan Prioritas Program Kesehatan (Studi Kasus Program Promosi Kesehatan)**. Universitas Diponegoro, Vol VII, No 2. Dinas Kesehatan Kota Ternate Provinsi Maluku Utara
- Masduqi, A. Dan Assomadi, A.F. 2012. **Operasi dan Proses Pengolahan Air**. Surabaya: ITS Press
- Narita, K., Lelono, B. Dan Arifin, S. 2011. **Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Penentuan Dosis Tawas pada Proses Koagulasi Sistem Pengolahan Air Minum**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. **Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**. Presiden Republik Indonesia. Jakarta

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. **Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.**
- Pitojo, S., & Purwantoyo, E. 2002. **Deteksi pencemar air minum.** Ungaran: Aneka Ilmu.
- Pre. 2014. **All About SimaPro 8.** <URL: <https://www.pre-sustainability.com/>>
- Prihartanto dan Budiman, E.B. 2007. **Sistem Informasi Pemantauan Dinamika Sungai Siak.** Alami ,Vol. 12 No 1: 52-60.
- Purnomo, E. N. S., Sari W. S., Rini. A. 2013. **Analisis Perbandingan menggunakan Metode AHP, TOPSIS, dan AHP-TOPSIS dalam Studi Kasus Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Siswa Program Akselerasi.** Jurnal ITSMART, Vol. 2 (1): 16-23. ISSN: 2.301-7.201.
- Putra, S., dan Rangkuti, C.H. 2016 . **Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mandiri Untuk Rumah Tinggal.** Universitas Trisakti. Jakarta
- Putri, R.P., Tama, I.P., dan Yuniarti, R. 2014. **Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Susu KUD Batu dengan Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) dan Pendekatan Analytical Network Process (ANP).** Universitas Brawijaya. Malang.
- Qasim, S.R., Motley, E.M., dan Zhu, G. 2000. **Water Work Engineering: Planning, Design & Operation.** Prentice Hall PTR. Texas
- Quddus, R. 2014. **Teknik Pengolahan Air Bersih Dengan Sistem Saringan Pasir Lambat (Downflow) yang Bersumber Dari Sungai Musi.** Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Raucher, R.S. 2008. **Risk and Benefits of Energy Management For Drinking Water Utilities.** Awwa Research Foundation. Denver
- Reynold, D. Tom, 1982. **Unit Operation and Process In Environent Engineering.** Brooks/Cole Engineering Division. Monterey. California
- Riyanty, F.P.E dan Indarjanto, H. 2015. **Kajian Dampak Proses Pengolahan Air di IPA Siwalapanji Terhadap Lingkungan Degan Menggunakan Metode Life Cycle**

- Assessment.** Institut Teknologi Sepuluh Nopember.Surabaya. Vol.4 No.2
- Rosmeika., Sutiarmo,L., dan Suratmo,B. 2010. **Pengembangan Perangkat Lunak Life Cycle Assessment (LCA) Untuk Ampas Tebu.** Universitas Gadjah Mada.Yogyakarta.
- Saaty, Thomas L.(1990). **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.** Pittsburgh: University of Pittsburgh Pers;
- Santoso. 2008. **Buku latihan SPSS statistik parameterik.** PT Elek Media Komputindo, Jakarta.
- Santoso, H dan Ronald. 2012. **Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup Pada Model Alat Potong Kuku Dengan Limbah Kayu di CV. Piranti Works.** Universitas diponegoro. Semarang.
- Saputri, E.D. dan Putu A. W. 2013. **Analisis Pemilihan Alternatif Proyek Manajemen Air di PT X dengan Metode Multi Criteria Decision Making (MCDM). Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII,** ISBN: 978-682- 97491-7-5
- Sawyer, C. N., mccarty, P.L., Parkin, G. F. 2003. **Chemistry For Environmental Engineering And Science,** 5thed., mcgraw-Hill, Singapore.
- Sitepu, Hairul. 2011. **Model Pengembangan Rusunawa Ramah Lingkungan Melalui Optimasi Pelaksanaan Green Construction di Batam.** Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suriawiria, Unus. 2003. **Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat.** Penerbit
- Susanto, Y. A. 2008. **Perencanaan Penilaian Kinerja Karyawan Berdasarkan Metode Kompetensi Spencer di PT. Tekun Asas Sumber Makmur.** Jakarta: Binus University.
- Sutrisno, Totok C. 2004. **Teknologi Penyediaan Air Bersih.** Jakarta: Rineka Cipta.
- Jain, R., S. Solomon, A.K. Shrivastava, and A. Chandra. 2011. **Effect of ethepon and calcium chloride on growth and biochemical attributes of sugarcane bud chips.** Acta Physiol Plant 33: 905 - 910.
- Joko, Tri. 2010. **Unit Produksi Dalam Sistem Penyediaan Air Minum.** Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Widyaningrum, C.R. 2016. **Analisis Penurunan Kinerja Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang I Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Widyaningsih, H.A dan Syafei, A.D. 2011. **Resirkulasi Flok Untuk Kekeruhan Rendah Pada Kali Pelayaran Sidoarjo Dengan Sistem Batch**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Yunianto, R.M dan Ciptomulyono, U. 2015. **Kajian *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk Perbaikan Produksi Air Bersih Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Ngagel II PDAM Surabaya dengan Pendekatan *Analytic Network Process* (ANP)**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran I

Kuisisioner Penentuan Alternatif

Perkenalkan saya Intania Mitra Utami, mahasiswi S1 departemen Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Saat ini saya sedang melakukan penelitian mengenai Analisis Proses Pengolahan Air di IPAM “X” dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Keluaran dari penelitian ini adalah alternatif perbaikan yang dapat digunakan untuk mereduksi dampak terhadap lingkungan dari proses pengolahan air di IPAM “X”. Saya memohon kesediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner dengan pilihan alternatif yang sesuai untuk diterapkan di IPAM “X”. Apabila membutuhkan informasi lebih lanjut, maka dapat menghubungi saya melalui email (intaniamitra@gmail.com) atau di No. HP (082285247178). Atas bantuan Bapak/Ibu, saya ucapkan terima kasih.

I. Identitas Responden

Nama responden :

Jabatan responden :

II. Petunjuk Pengisian

Dalam kuesioner ini terdapat 2 bagian yang harus diisi. Pada bagian pertama terdapat perbandingan kriteria, yang mana hasilnya nanti digunakan sebagai dasar dalam pemilihan alternatif perbaikan yang paling memungkinkan untuk diterapkan. Sedangkan, pada bagian kedua terdapat perbandingan alternatif perbaikan yang akan dipilih. Responden diminta untuk memberikan skala prioritas, baik pada perbandingan kriteria maupun alternatif, dengan memberikan tanda centang pada kolom skala. Dalam kolom skala terdapat rentang angka 1 sampai 9 ke kiri dan ke kanan yang menunjukkan arah prioritas. Semakin tinggi angka skala yang dipilih, berarti tingkat prioritas kriteria maupun alternatif tersebut juga semakin besar. Berikut ini adalah definisi angka skala yang digunakan dan contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh responden:

Definisi angka skala:

- 1 : Kedua kriteria sama penting.
 3 : Kriteria yang dipilih sedikit lebih penting dibanding kan kriteria pembandingnya.
 5 : Kriteria yang dipilih lebih penting dibandingkan kriteria pembandingnya.
 7 : Kriteria yang dipilih sangat lebih penting dibanding kan kriteria pembandingnya.
 9 : Kriteria yang dipilih mutlak lebih penting dibanding kan kriteria pembandingnya.
 2, 4, 6, 8 : Nilai tengah.

Contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh responden dapat dilihat pada Tabel L.II.1.

Tabel L.II. 1 Contoh Petunjuk Pengisian Penilaian

Alter natif	Prioritas																	Alter natif
Alter natif A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Alter natif B



Dengan memberi tanda centang pada skala 3 ke arah kriteria A, berarti kriteria A sedikit lebih penting dibandingkan dengan kriteria B. Responden juga diharapkan memberikan keterangan apabila ingin memberikan justifikasi penilaian pada kolom keterangan. Keterangan dapat didasarkan pada kondisi eksisting proses penggunaan atau keterbatasan yang dimiliki oleh pengelola dalam mengelola.

III. Pertanyaan Kuesioner

1. Perbandingan Kriteria Pemilihan Alternatif.

Pada perbandingan kriteria, terdapat 3 kriteria yang akan dibandingkan, yaitu biaya investasi dan produksi, kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan, dan kemudahan dalam pelaksanaan. Hasil dari perbandingan ini menunjukkan kriteria mana yang menjadi prioritas responden sebagai dasar pemilihan alternatif nantinya. Berikut ini adalah penjelasan secara singkat untuk setiap kriteria yang dibandingkan:

- Berdasarkan biaya investasi dan produksi. Kriteria biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja, dan biaya pelatihan untuk menambah wawasan tenaga kerja dalam pengoperasian alternatif yang dipilih. Sedangkan, biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan yang digunakan pada operasional alternatif, biaya perawatan alternatif, serta biaya perbaikan alternatif.
- Berdasarkan kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan. Kriteria kinerja alternatif terhadap dampak lingkungan merupakan kriteria yang menunjukkan seberapa besar pengaruh alternatif yang dipilih terhadap optimalisasi reduksi dampak dari hasil analisis LCA.
- Berdasarkan kemudahan dalam pelaksanaan. Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan kriteria yang menunjukkan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif yang dipilih terbilang rendah.

2. Perbandingan Alternatif Perbaikan.

Penentuan skala prioritas dalam setiap alternatif perbaikan dilakukan berdasarkan kriteria yang ada. Pada perbandingan alternatif, terdapat 3 alternatif pada masing-masing kriteria, yaitu:

- Substitusi koagulan sintetik dengan koagulan alami.
- Energi listrik pada IPAM sebagian di *supply* dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance.
- Substitusi desinfektan jenis Chlor menjadi Ozon

Pemilihan kriteria yang lebih penting dalam kegiatan proses pengolahan air dapat dilakukan pada Tabel L.I.3, sedangkan untuk pemilihan alternatif perbaikan dapat dilakukan pada Tabel L.I.4 -Tabel L.I.6.

Tabel L.I. 2. Alternatif untuk Mereduksi Dampak pada Proses Produksi Di IPAM “X”

Alternatif	Cara Kerja	Manfaat
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	Melakukan perhitungan kembali terhadap dosis koagulan yang digunakan, melakukan uji jarrest agar jumlah yang digunakan menjadi lebih sedikit	Untuk mengurangi dosis koagulan yang digunakan yang menghasilkan residu yang berbahaya bagi kesehatan.
Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit	Melakukan pergantian jenis desinfektan klor menjadi hipoklorit	Mengurangi penipisan lapisan ozon dan penyakit bagi makhluk hidup
Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	Penyerapan sinar matahari yang digunakan sebagai energy listrik dan melakukan pengawasan terhadap unit yang menggunakan energy listrik agar kinerja sesuai SOP.	Mengurangi pemakaian energi listrik yang berpengaruh terhadap pemanasan global.

Responden diminta untuk memberikan skala prioritas terhadap perbandingan alternatif berikut dengan memberikan tanda lingkaran. Berikut contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh

A. Prioritas kriteria

Prioritas Kriteria Berdasarkan dari ketiga kriteria yaitu biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan mana yang menjadi prioritas responden untuk mendasari dalam pemilihan alternatif nantinya dapat dilihat pada tabel L.I.3

Tabel L.I. 3 Pemilihan Kriteria yang Lebih Penting dalam Kegiatan pengolahan Air di IPAM “X”

Alternatif	Prioritas																	Alternatif
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Dampak Lingkungan
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan
Dampak Lingkungan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan

- B. Berdasarkan biaya investasi dan produksi Kriteria Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan langsung yang digunakan untuk operasional alternatif dapat dilihat pada tabel L.I.4

Tabel L.I.4 Pemilihan Alternatif Perbaikan berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi

Alternatif	Prioritas																	Alternatif
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di <i>supply</i> dari energi terbarukan (tenaga surya).
Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di <i>supply</i> dari energy terbarukan (tenaga surya).

C. Berdasarkan dampak Lingkungan Kriteria Dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi dampak yang dianalisis pada LCA dapat dilihat pada tabel L.I.5

Tabel L.I. 5 Pemilihan Alternatif Perbaikan berdasarkan Kinerja Alternatif terhadap Dampak Lingkungan

Alternatif	Prioritas																	Alternatif
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya).
Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energy terbarukan (tenaga surya).

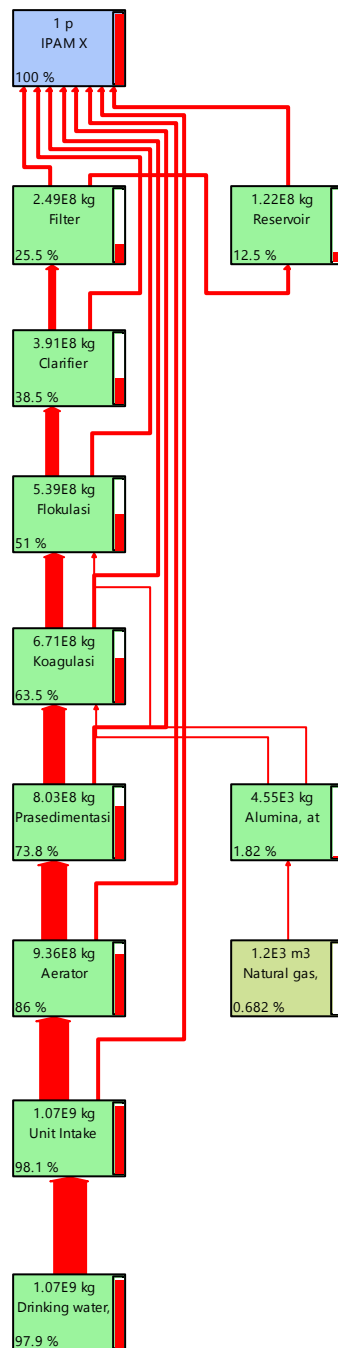
D. Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif terbilang rendah dapat dilihat pada tabel L.I.6

Tabel L.I. 6 Pemilihan Alternatif Perbaikan berdasarkan Kemudahan dalam Pelaksanaan

Alternatif	Prioritas																Alternatif	
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit
Optimalisasi penggunaan Alum sebagai koagulan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya).
Substitusi jenis desinfektan menjadi Hipoklorit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energy terbarukan (tenaga surya).

LAMPIRAN II

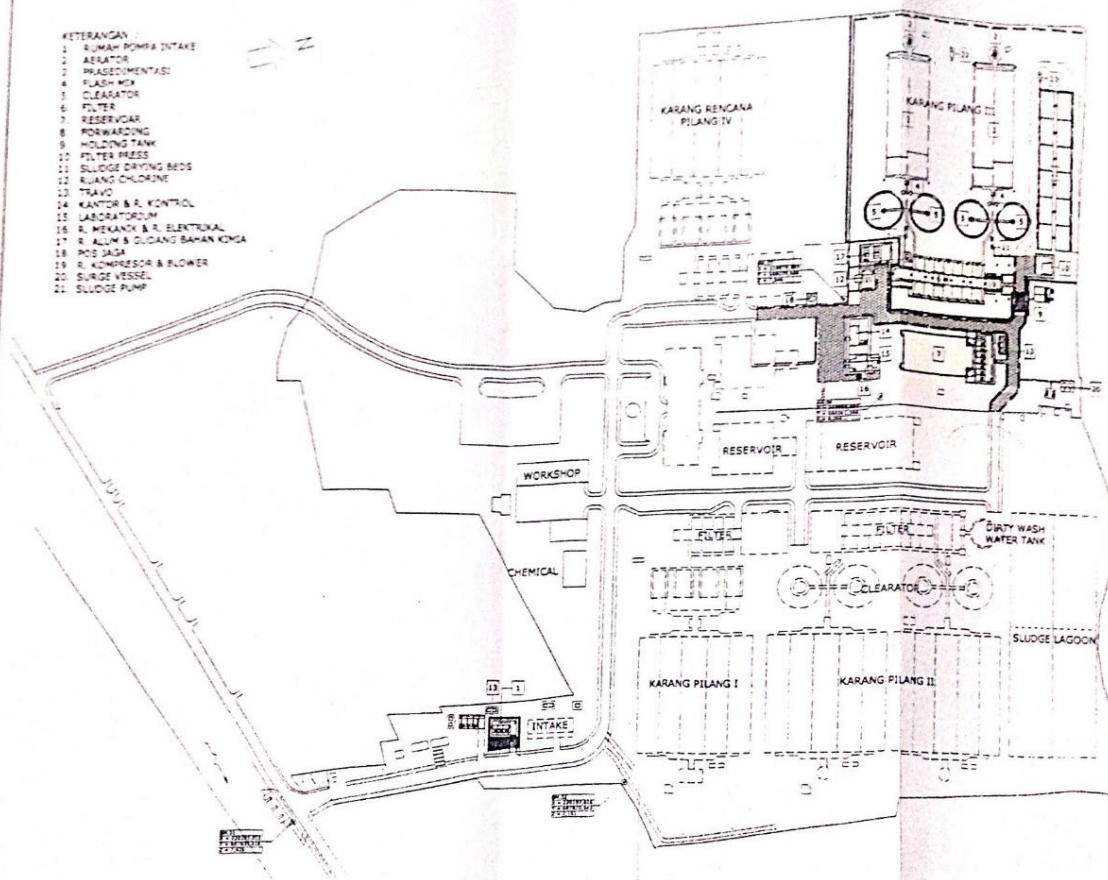
Network Tree Diagram Proses Pengolahan Air Di IPAM “X”



L.II Network Tree Diagram Proses Pengolahan Air di IPAM “X”

KETERANGAN

1. SUMPAH POMPA INTAKE
2. AERATOR
3. PRASEDIMENASI
4. FLASH MIX
5. CLEARATOR
6. FILTER
7. RESERVOAR
8. FORWARDING
9. HOLDING TANK
10. FILTER PRESS
11. SLUDGE DRYING BEDS
12. RUANG CHLORINE
13. TRAVO
14. KANTOR & R. KONTROL
15. LABORATORIUM
16. R. MEKANYA & R. ELEKTRIKAL
17. R. ALUM & GUDANG BAHAN KIMIA
18. PDS JAGA
19. R. KOMPRESOR & BLOWER
20. SURGE VESSEL
21. SLUDGE PUMP



LAY OUT INSTALASI
SKALA 1 : 2500

PERUSAHAAN GEREBAK AIR MINUM BURSA BERSADA KOTA SURABAYA		
Nama Proyek PEMBANGUNAN IRIGASI KARANG PILANG III PDAM KOTA SURABAYA		
KONTRAKTOR PT. ASHA KARYA & REKREASI TEK. JAWA BARAT		
DESAIN PT. SURYATAMA KARYA SURABAYA		
LEGENDA		
AS-BUILT DRAWING		
NO.	REVISI	
MENGETAHUI MANAJER PROJEK <i>[Signature]</i> (T. HADJAH) NIP. 1963064		
SUPERVISOR KOORDINATOR PENGAWAS SIPIL <i>[Signature]</i> (T. HADJAH) NIP. 1963064		
Jarak Gambar LAYOUT INSTALASI KARANG PILANG		
Disetujui	Uraian	Hasil Gambar
<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	U-1
Disetujui	Uraian	Hasil Gambar
<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	U-1

LAMPIRAN IV
Rekapan Hasil Kuisisioner

Perbandingan berpasangan antar kriteria		Responden				
		1	2	3	4	5
Biaya investasi dan produksi	Dampak lingkungan	1/3	1/3	5	1/3	1/3
Biaya investasi dan produksi	Kemudahan dalam pelaksanaan	3	1	5	1/3	2
Dampak lingkungan	Kemudahan dalam pelaksanaan	1	1	3	1/5	3

Perbandingan berpasangan antar alternatif berdasarkan biaya investasi dan produksi		Responden				
		1	2	3	4	5
Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum	Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	1/5	1/5	3	3	1/2
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	5	1/5	3	1/5	2

Perbandingan berpasangan antar alternatif berdasarkan biaya investasi dan produksi		Responden				
		1	2	3	4	5
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	3	1/5	3	1/3	3

perbandingan berpasangan antar alternatif berdasarkan dampak lingkungan		responden				
		1	2	3	4	5
Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum	Substitusi desinfektan jenis Chlor menjadi garam-garam hipoklorit	1	5	3	1/3	1/3
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	3	1/5	1/3	1/3	3
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2

Perbandingan berpasangan antar alternatif berdasarkan Kemudahan dalam pelaksanaan		Responden				
		1	2	3	4	5
Optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum	Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	5	1/5	3	1/3	3
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	1/3	3	1/3	1/3	3
Substitusi desinfektan jenis klor menjadi garam-garam hipoklorit	Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta maintenance	3	1/3	1/3	1/3	1/2

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Padang, 10 Maret 1997, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara dari pasangan Muhammad Zikri dan Marnellis. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi, SD Pertiwi 2 Padang, SMPN 1 Padang dan SMAN 1 Padang. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 03211540000060. Di Departemen

Teknik Lingkungan penulis melakukan penelitian Tugas Akhir pada Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan dengan judul tugas akhir “**Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM “X” Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)**”.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan di lingkup ITS, baik tingkat jurusan, fakultas, maupun tingkat institut. Selain sebagai panitia, penulis juga aktif di bidang manajerial lainnya seperti staff divisi Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSLK ITS , dan kepala bidang Networking di divisi hubungan luar HMTL FTSLK ITS. Selain itu, penulis aktif di berbagai kepanitian tingkat regional. Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java di Jakarta. Penulis pernah mengikuti berbagai pelatihan dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi melalui email intaniamitra@gmail.com.



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Gasal 2018/2019

Kode/SKS : RE141561 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Rabu 28-Nov-18

Pukul : 15.00-16.00 WIB

Lokasi : Ruang Sidang

Judul : Analisis Proses Pengolahan Air di IPAM "X" Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)

Nama : Intania Mitra Utami

NRP. : 0321154000060

Topik : Penelitian Lapangan

Nilai TOEFL 477

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Debit pompa berapa? belum ditulis utbk KP BB.
2.	Input (inventori) → bahan kimia, energi listrik, debit air. ↓ tawar + PE. → m. hujan.
3.	Data? dimasukkan & dibahas; massa 2% lumpur?
4.	hitung tawar? 0,8?
5.	alasan? & uraian dari 3 dampak tawar & a.m (diperjelas)
6.	tawar → dosis & komposisi (polielektrolit)
7.	desinfeksi →
8.	Kesimpulan & saran dimasukkan dg tawar.
9.	Biaya klor, kadar organik → hidup manusia (baru lingk. an)
10.	Penetapan pd proses dg slow sand filter/plate settler > 2 m. (alir fgs).
11.	Lihat Limbah B3 di Permenvh. re Mike 17/12/18.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

ditanda

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Kurnaningroem, M.Sc



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTSLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5548886, Fax: 031-5528387

UTA-51-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Ganjil 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 14 Januari 2019

Pukul : 09:30 - 11:30

Lokasi : TL-101

Judul : ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PENGOLAHAN AIR DI ITAM "X" DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Nama : INTANIA MITRA UTAMI

NRP. : 08211540000060

Topik : PENELITIAN LAPANGAN

Nilai TOEFL 477

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
4.	Abstract
2.	kata Pengantar } dicek kembali
3.	Pembahasan saran? perlu ditambahkan
4.	Tam bahkkan place settler eng prasedimentasi
5.	Kesimpulan perlu diperbaiki dengan kalimat kontribusi

me Miki

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Niene Karnaningroem, M.Sc



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORM FTA-04

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : INTANIA MITRA UTAMI

NRP : 0321154000060

Judul : Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM "X" dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

No	Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1	Mass Balance yang akan dimasukkan di cek kembali.	Sudah dilakukan perbaikan dalam perhitungan massa lumpur di unit prasedimentasi.
2	Uraian dari 3 dampak yang ditinjau lebih diperjelas dan ditulis pada ruang lingkup.	Sudah dijelaskan mengenai dampak yang dijadikan ruang lingkup yaitu <i>Ozone Layer Depletion</i> , <i>Global Warming</i> , dan <i>Respiratory Inorganics</i> dan sudah ditulis di ruang lingkup.
3	Uji kualitas air berupa sisa alum dan sisa kadar organik pada air minum di IPAM "X".	Dijadikan saran untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya.
4	Saran dan kesimpulan harus sesuai dengan tujuan penelitian.	Sudah disesuaikan saran dan kesimpulan dengan tujuan penelitian.
5	Kalibrasi software simapro untuk analisis dengan metode LCA	Cari literature yang relevan
6	Alternatif untuk reduksi dampak lingkungan lebih ditinjau kembali dan metode AHP lebih dijelaskan.	Alternatif yang digunakan yaitu melakukan optimalisasi penggunaan koagulan sintetik jenis alum, Substitusi desinfektan jenis Chlor menjadi garam-garam hipoklorit, dan Energi listrik pada IPAM sebagian di supply dari energi terbarukan (tenaga surya) dan dilakukan pengawasan serta <i>maintenance</i> dan metode AHP sesudah ditambahkan penjelasan
7	Gambar lebih diperjelas agar bisa dibaca	Sudah dilakukan perbesaran gambar agar bisa dibaca.
8	Judul penelitian di tambahkan kata dampak lingkungan.	Judul penelitian adalah Analisis dampak lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM "X" dengan menggunakan metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).

Dosen Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, M.Sc

Mahasiswa Ybs, 28 Desember 2018

0321154000060



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : INTANIA MITRA UTAMI
NRP : 03211540000060
Judul : Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM "X"
dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	30 agus 2018	Revisi proposal tugas akhir yang disesuaikan dengan berita acara pada saat seminar proposal.	
2	10 september 2018	Diskusi mengenai metoda LCA pada proses pengolahan air minum dan ruang lingkup yang dipilih.	
3	25 sept 2018	Asistensi hasil sampling yang dilakukan untuk uji kualitas air minum dengan parameter TDS, Kekeruhan, pH, dan sisa klor.	
4	10 ok t 2018	Asistensi hasil running software simapro untuk metode LCA.	
5	25 oktober 2018	Asistensi hasil penelitian secara keseluruhan (80%)	
6	13 nov 2018	Revisi laporan setelah sidang progress	
7	18 des 2018	Pelaporan hasil fix revisi laporan TA	
8		Asistensi laporan TA	

Surabaya, 27 Desember 2018
Dosen Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc